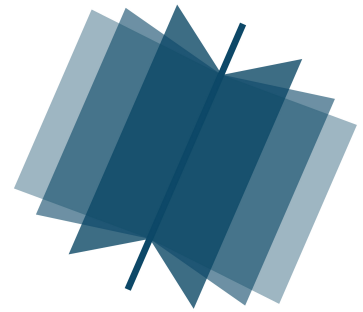


**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург
2016



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.
Главный редактор: Миллер А.В.
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,
д. 4, корп. А, оф. 17.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org

**№4 (46) 2016
Часть 2
Апрель**

Подписано в печать 18.04.2016.
Тираж 900 экз.
Заказ 26131
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Сборник по результатам XLIX заочной научной конференции International Research Journal.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Agris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217**.

Члены редколлегии:

Филологические науки: Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

Технические науки: Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

Педагогические науки: Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

Психологические науки: Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

Физико-математические науки: Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свистунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

Географические науки: Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

Биологические науки: Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

Архитектура: Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

Ветеринарные науки: Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

Медицинские науки: Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

Исторические науки: Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

Культурология: Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

Искусствоведение: Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

Философские науки: Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

Юридические науки: Грудцына Л.Ю., д-р юрид. наук, проф., Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Камышанский В.П., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

Сельскохозяйственные науки: Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

Социологические науки: Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

Химические науки: Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

Науки о Земле: Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

Экономические науки: Бурда А.Г., д-р экон. наук, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

Политические науки: Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

Фармацевтические науки: Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ОБ ОСНОВАХ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ	6
ПРИМЕР РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ФЛАНЕЦ» ЧЕРЕЗ СТАНКО-ЧАС	13
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОКОНВЕКЦИИ НА ПЕРЕНОС В ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД.....	17
ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ПЕРЕНОС В ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД.....	25
ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БИООБЪЕКТА ПО ХРОНОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ РЕГИСТРИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ	30
ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ.....	36
ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА МЭК 61850	39
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ САЙТОВ.....	42
DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY TESTING TECHNOLOGIES	45
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ПОСТОЯННОЙ ВОДООТДАЧЕ	52
ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АРМИРОВАННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С НЕЛИНЕЙНО УПРУГОЙ РАЗНОМОДУЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ.....	56
РЕАЛИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB.....	59
КАНОНИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	71
THE DOPLER DEVICE FOR AN ASSESSMENT OF CARDIAC ACTIVITY OF A FETUS WITH DIGITAL BLOCK OF A FILTRATION OF HUMS.....	74
МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	76
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ	80
РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ФЕРМ НА ДЕЙСТВИЕ МГНОВЕННОГО ИМПУЛЬСА МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ.....	85
МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЦИФРОВЫХ СХЕМ С ДВУПРОВОДНЫМИ ДАННЫМИ	90
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБСЛУЖИВАЕМОЙ ЗОНЫ РОБОТА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ.....	91
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБОЛОЧЕК, ИСПЫТЫВАЮЩИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ СЖАТИЕ	97
ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ.....	100
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИН В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	104
ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ-БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «СТРОИТЕЛЬСТВО» В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»	107
ANALYSIS OF CLOUD COMPUTING SEGMENT IN RUSSIA	110
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ	113
СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МУЛЬТИСЛОЙНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ.....	117
ПРОЦЕССЫ СМЕШЕНИЯ И СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ СИСТЕМ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ В ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	120
ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ И ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ДОБАВОК	124

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЦИФРОВОГО БИХ-ФИЛЬТРА.....	126
ПАРАМЕТРЫ ГРЕЙФЕРА ГИДРОМАНИПУЛЯТОРА ПРИ ВЫЕМКЕ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ.....	129
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ТОРЦОВ РОЛИКОВ.....	131
ОСОБЕННОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ.....	135
ОБ ОДНОЙ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ СХЕМЕ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ЭРЕДИТАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА.....	138
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ.....	143
О ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ.....	149
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ НА ОДНОРОДНОСТЬ ПРИГОТАВЛИВАЕМЫХ СМЕСЕЙ В ПЛАНЕТАРНОМ СМЕСИТЕЛЕ.....	151
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОБАВКИ НАНОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА В КАЧЕСТВЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА	155
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ АЦЕТОНА ПРИ ЕГО ПРОИЗВОДСТВЕ КУМОЛЬНЫМ СПОСОБОМ.....	160
ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРАГМЕНТА МОЛЕКУЛЫ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ ХИТОЗАНА.....	166
МОДЕЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРОКАТА ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ.....	169
ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ФАКТОРА АТОМОВ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ.....	174
TOPICAL ISSUES ON PROVIDING BIOMETRIC SYSTEM SECURITY.....	177
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ НА ПРИМЕРЕ МАЙОНЕЗНОЙ ПРОДУКЦИИ	183
БИОИМПЕДАНСНЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР ЧЕЛОВЕКА	185
БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА	190
ОДНОМЕМБРАННЫЙ ПРИВОД С ПЕРЕМЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДЬЮ	194
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО МОДИФИКАТОРА В ПЕПЛОБЕТОНЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО	197
ТЕХНОЛОГИЯ POWER LINE COMMUNICATIONS: РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	199
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГРУНТОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ВЯЖУЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ И КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ.....	202
НЕЙРОСЕТЕВАЯ СХЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАЛЬНОСТНЫМ ПОРТРЕТАМ	204
DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE MAINTENANCE OF THE PROCUREMENT PROCESS AT THE ENTERPRISE	210

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING**DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.175****Абрамов Л.М.¹, Галкина М.А.², Маклакова С.Н.³**¹Доктор технических наук, профессор, ²аспирант, ³доцент кафедры строительных конструкций,
Костромская государственная сельскохозяйственная академия**ОБ ОСНОВАХ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ****Аннотация**

Цель работы - исследование факторов, влияющих на прочностные характеристики бетонов при определении прочности на сжатие. Проводимые по стандартной методике по ГОСТ 10180-2012 испытания на сжатие контрольных образцов бетона не отвечают современным требованиям как по качеству подготовки экспериментов, так, как следствие, по объективным показателям получаемых результатов, что указывает на необходимость корректировки методики испытаний, рекомендованной нормативными документами.

Ключевые слова: испытание, сопротивление, сжатие, перемещение, напряжение, анализ.

Abramov L.M.¹, Galkina M.A.², Maklakova S.N.³¹PhD in Engineering, Professor, ²postgraduate student, ³associate Professor, Department of building structures,
Kostroma state agricultural Academy**ABOUT THE BASICS OF IMPROVING THE RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
DURING DESIGN AND OPERATION****Abstract**

Purpose - the study of factors affecting on strength characteristics of concrete in the determination of the compressive strength. Conducted by standard methods according to GOST 10180-2012 compression testing of control samples of concrete do not meet modern requirements as to the preparation of the experiments, as a result, for the objective indicators of results, indicating the need to adjust testing methods recommended by regulatory documents.

Keywords: test, resistance, compression, displacement, voltage, analysis.

В последнее время по объективным причинам возрос интерес к проектированию и возведению зданий и сооружений повышенного уровня ответственности. Одновременно, как констатирует большинство экспертов, резко упало качество материалов, применяемых при изготовлении строительных элементов (балки, колонны, плиты и т.д.). Это безусловно связано с падением культуры производства в связи с использованием дешевой, малоквалифицированной рабочей силы, с понижением уровня подготовки специалистов для строительной отрасли, а также с нарушениями технологии процессов производства основных конструктивных материалов (бетон, арматура).

Как указано в работе [1], поскольку бетон относится к конструкционным материалам, то весьма важны его прочностные характеристики. Однако до последнего времени, на наш взгляд, уделяется недостаточно внимания исследования в области методики испытания бетона в части определения его нормативных и расчетных характеристик прочности, хотя назревшая необходимость в этом имеется.

Следует так же отметить, что существует достаточно распространенная точка зрения [2-3], что надежность железобетонных конструкций – это прежде всего надежность основного конструктивного материала, т.е. бетона, и объективная оценка прочности как основного его показателя, является одной из важнейших сторон обеспечения надежности любой элементарной конструкции в целом.

Как показано в работах [4-5], проводимые по стандартной методике [6] испытания на сжатие контрольных образцов бетона не отвечают современным требованиям как по качеству подготовки экспериментов (вывод формы и размеров образцов, обеспечение необходимых условий для реализации одноосного сжатия и т.д.), так, как следствие, по объективным показателям получаемых результатов.

По-видимому, впервые Ю.М. Баженовым [2] было отмечено, что одна из основных проблем при проведении испытаний на сжатие бетонных образцов – это устранение вредного влияния сил трения (касательных напряжений), возникающих на контактных поверхностях «образец-плита испытательной машины».

Схемы нагружения образца и возникающих напряженных состояний в этом случае приведены на рис. 1.

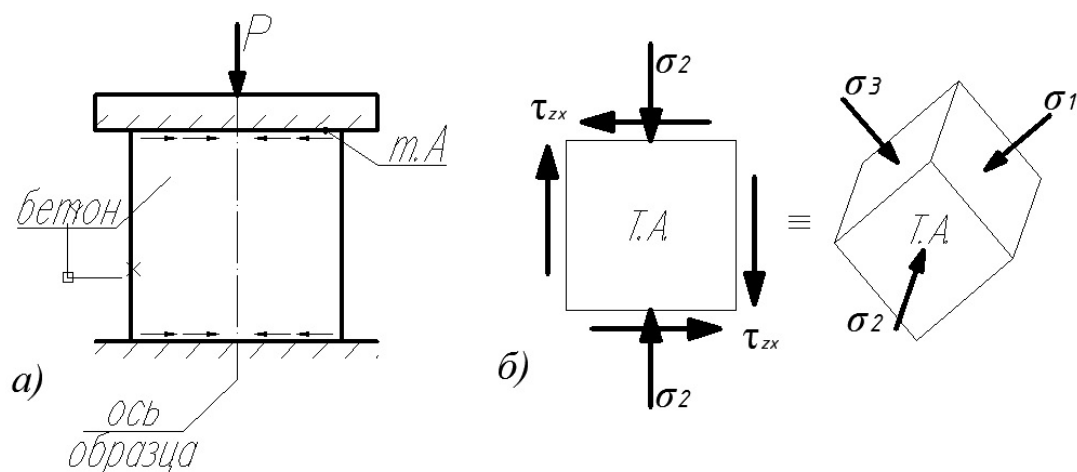


Рис. 1 – Схема нагружения образца и возникновения напряженно-деформированного состояния:
а – схема нагружения образца; б – схема нагруженного состояния и действия главных напряжений

Очевидное влияние касательных напряжений (рис.1а) ярко проявляется при рассмотрении видов разрушения изгибающих образцов, испытанных в рекомендуемых нормами [6] условиях (рис2).

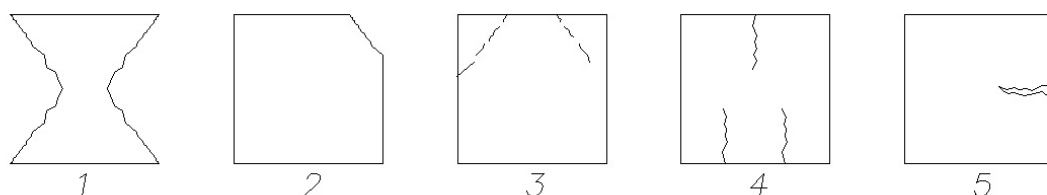


Рис. 2 – Формы разрушенных кубических образцов при испытаниях при рекомендуемых нормами условиях: 1 – нормальное разрушение, 2-5 – дефектное разрушение

При этом форма рис.1а. принята стандартом за основную, результаты испытаний только таким образом разрушенных образцов, рекомендовано учитывать при расчете характеристик прочности.

Однако разработанная нами методика испытаний позволила существенно уменьшить влияние сил трения (напряжения τ_{zx} на рис. 1б), создав на контактных поверхностях образца режим гидродинамического трения, что подробно описано в работах [4-5].

Результаты испытаний кубических образцов по рекомендуемой стандартом и предложенной нами методике приведены в таблице 1. В качестве материалов были использованы бетоны В15 и В30, часто применяемые для изготовления строительных элементов типа балок, плит, колонны, панелей и т.д. В качестве заполнителя был использован песок с размером зерен от 0,63 до 2,5 мм, что позволило уменьшить величину абразивной составляющей силы трения, возникающей на касательных поверхностях.

Количественных результаты испытаний по определению разрушающей нагрузки при использовании кубических образцов размером 100×100×100 мм приведены с учетом масштабного коэффициента, рекомендованного ГОСТ 10180 -2012.

Таблица 1 – Величина разрушающей нагрузки при испытании на сжатие бетонных образцов размером 100х100 мм (кН)

Класс бетона	Заполнитель – песок – фракция заполнителя	По нормативной методике	Среднее значение	С учетом масштабного коэф-та 0,95	По предложенной методике	Среднее значение	С учетом масштабного коэф-та 0,95
В15	1,25...2,5	2100	2082,50	1978,37	1481	1468,25	1394,83
	1,25...2,5	1950			1375		
	1,25...2,5	2140			1509		
	1,25...2,5	2180			1537		
	1,25...2,5	2060			1452		
	1,25...2,5	1990			1403		
	0,63...1,25	1650			1267		
	0,63...1,25	1660	1652,50	1569,87	1275	1269,00	1205,55
	0,63...1,25	1610			1236		
	0,63...1,25	1650			1267		

Окончание табл. 1 – Величина разрушающей нагрузки при испытании на сжатие бетонных образцов размером 100х100 мм (кН)

	0,63...1,25	1690			1298		
	0,63...1,25	1600			1229		
	≥0,63	1220	1202,50	1142,37	1050	1037,50	985,62
	≥0,63	1200			1040		
	≥0,63	1200			1100		
	≥0,63	1220			1000		
	≥0,63	1190			1010		
	≥0,63	1220			1040		
Среднее значение			1645,83	1563,53		1258,25	1195,33
Класс бетона	Заполнитель – песок – фракция заполнителя	По нормативной методике	Среднее значение	С учетом масштабного коэф-та 0,95	По предложенной методике	Среднее значение	С учетом масштабного коэф-та 0,95
В30	1,25...2,5	2890	2800,00	2660,00	2030	1918,75	1822,81
	1,25...2,5	2800			1980		
	1,25...2,5	2810			1900		
	1,25...2,5	2910			1920		
	1,25...2,5	2680			1875		
	1,25...2,5	3100			1980		
	0,63...1,25	2690			1975		
	0,63...1,25	2620	2642,50	2510,37	1740	1881,25	1787,18
	0,63...1,25	2610			1930		
	0,63...1,25	2740			1995		
	0,63...1,25	2600			1860		
	0,63...1,25	2900			1890		
	≥0,63	2400			1610		
	≥0,63	2560	2570,00	2441,50	1700	1825,00	1733,75
	≥0,63	2550			1920		
	≥0,63	2620			1700		
	≥0,63	2550			1980		
	≥0,63	2500			1990		
Среднее значение			2670,83	2537,28		1875,00	1781,25

Приведенные результаты были использованы при расчете величин характеристик прочности отдельного образца по формуле

$$R_i = \alpha_w \cdot P_i / A_i. \quad (1)$$

где α_w – максимальный коэффициент для образца, принятый по стандарту ($\alpha_w=0,95$);

P_i – минимальная разрушающая нагрузка, взятая по таб.1;

A_i – площадь поперечного контактного сечения испытанного образца, измеренная перед нагружением.

Класс бетона В, как характеристику прочности, указываемую в рабочих чертежах, определяли по формуле

$$B = R_m - \chi_i S, \quad (2)$$

где R_m – среднее значение характеристик прочности, вычисленное по результатам испытания серии;

χ_i – коэффициент Стьюдента, определяемый с учетом рекомендаций ГОСТ 0180-2012;

S – среднеквадратическое отклонение для результатов испытаний для конкретной серии образцов.

Нормативное $R_{b,n}$ и расчетное R_b сопротивления бетона, используемые при расчете по 2-й и 1-й группе предельных состояний, вычисляем по формулам

$$R_{b,n} = (0.77 - 0.001B)B \leq 0.72B; \quad (3)$$

$$R_b = \frac{R_{b,n}}{\gamma_b}, \quad (4)$$

где γ_b – коэффициент надежности по бетону, принимаемый по рекомендациям [7].

Как следует из расчетных зависимостей [1-4] при определении нормативного сопротивления сжатию величину характеристики прочности материала конкретного образца уменьшают три раза, а при определении расчетного сопротивления величину $R_{b,n}$ уменьшают дополнительно в γ_b раз, поскольку $\gamma_b > 1$. Это связано со структурой бетона, которая отличается высокой неоднородностью и содержит несколько составляющих (цементный камень, заполнитель, добавки), а также 5 видов дефектов (3 вида коррозии и 2 вида трещин).

Вследствие этого при испытаниях при испытаниях кубических бетонных образцов помимо сил трения дополнительно действует ряд факторов, существенно влияющих на условия деформирования материала, которые подробно были описаны в работе [8]:

- неплоскостность контактных поверхностей образцов;
- наличие выступающих частей зерен заполнителя на контактных поверхностях;
- наличие абразивного эффекта вследствие высокой твердости зерен заполнителя;

- неравномерность распределения нормативных напряжений по контактах поверхности.

Численный расчет с применением программного комплекса ANSYS показал, что при отсутствии или наличии контактных сил трения картины деформирования образцов в различных условиях существенно разнятся [рис 3-4].

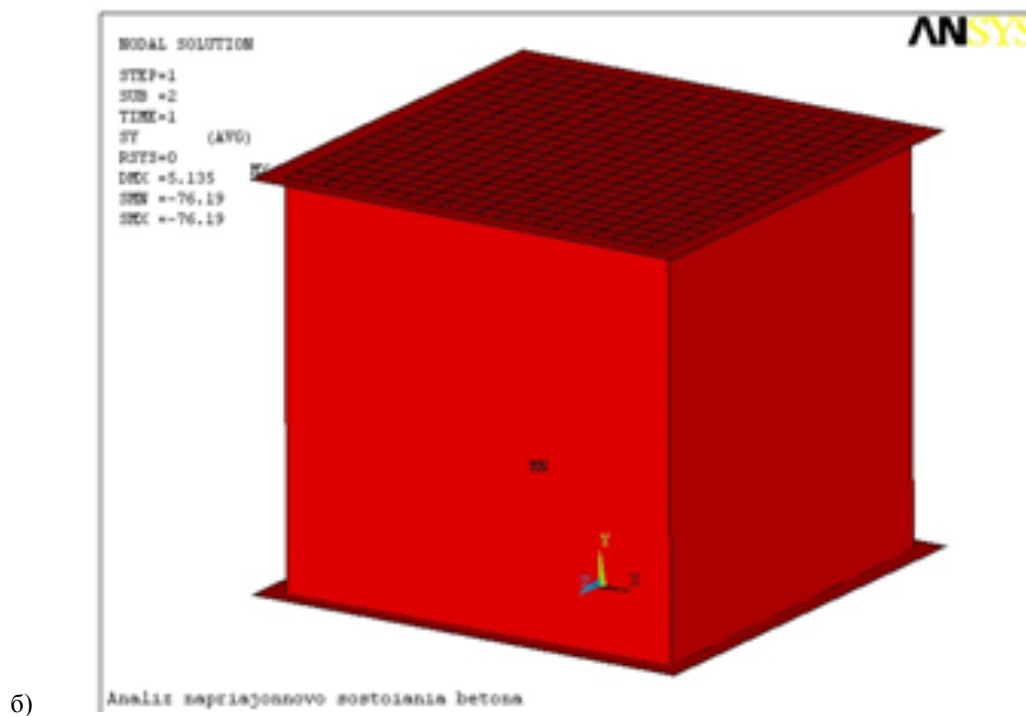
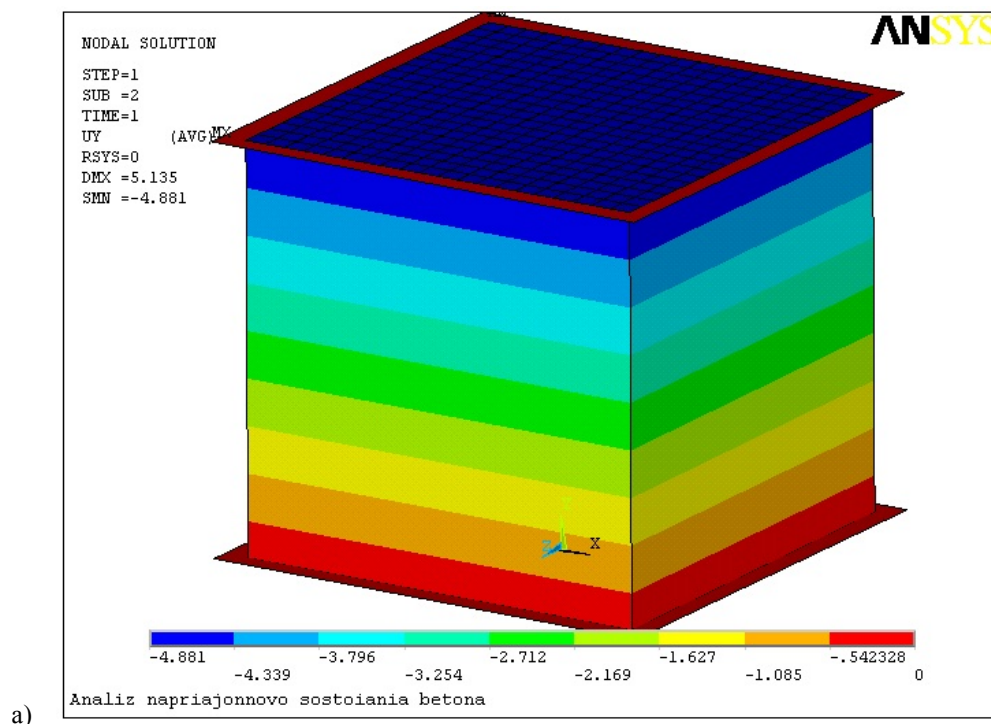


Рис. 3 – Распределение осевых перемещений (а) и осевых напряжений (б) для изотропного бетона в условиях отсутствия трения

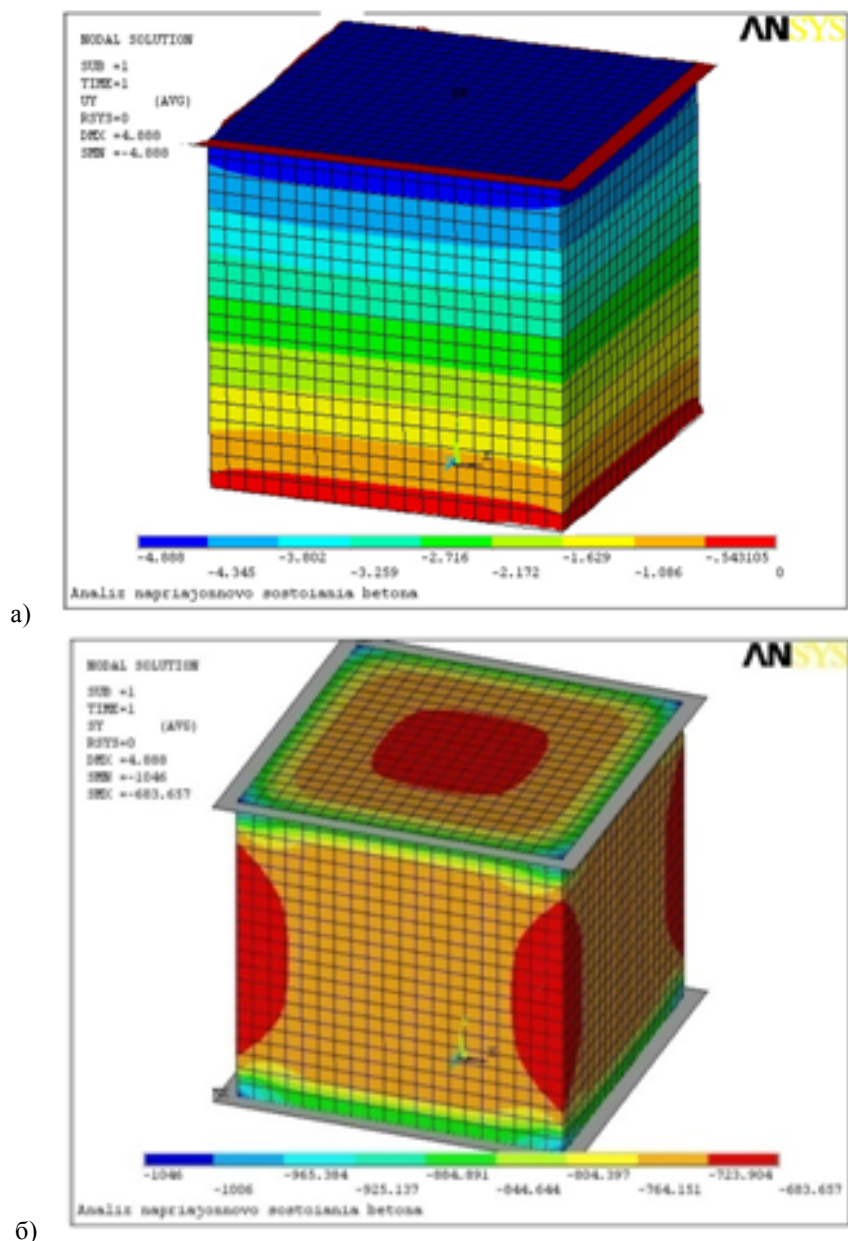


Рис. 4 – Распределение осевых перемещений (а) и осевых напряжений (б) для изотропного бетона при наличии трения

Для теоретического анализа напряженно-деформированного состояния бетонного изотропного образца использовали модель упругопластического тела (бетон обладает нелинейной характеристикой типа «напряжение σ_b – деформация ε_b »). Граничные условия задавали в перемещениях, величина которых не превышала предельных упругих значений, подсчитанных по величине предельных упругих деформаций, равных 0,1%. При таких принятых допущениях математическая расчетная модель была записана в виде [8]:

$$\begin{cases} (\lambda_b + G_b) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + G_b \nabla^2 u = 0 \\ (\lambda_b + G_b) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + G_b \nabla^2 v = 0 \\ (\lambda_b + G_b) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + G_b \nabla^2 w = 0 \end{cases} \quad (5)$$

где

$$\lambda_b = \frac{\mu_b E_b}{(1 + \mu_b)(1 - 2\mu_b)}; \quad G_b = \frac{E_b}{2(1 + \mu_b)} \quad (6)$$

где $\Delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$; u, v, w – перемещения точек деформированного материала по соответствующим

координатным осям x, y, z ; λ_b, μ_b, E_b – упругие характеристики бетона, принимаемые по нормативным данным для бетонов используемых классов без учета анизотропных свойств бетонов.

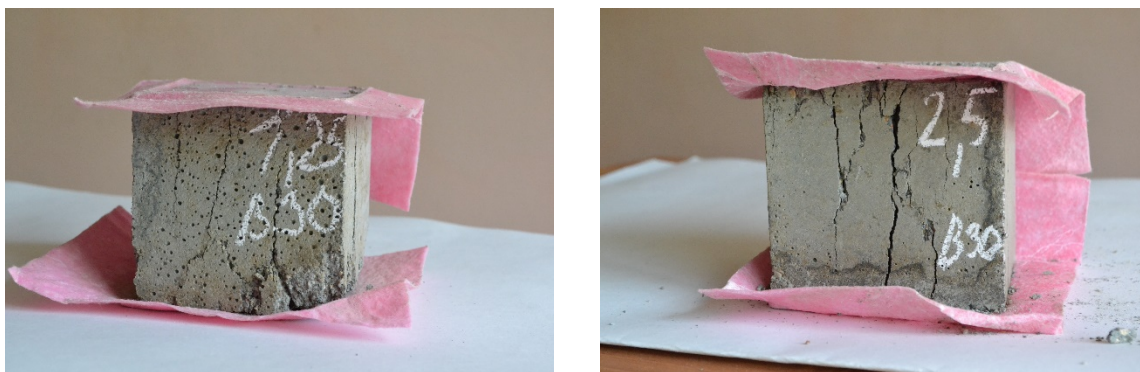


Рис. 5 – Внешний вид образцов, разрушенных в условиях возникновения режима гидродинамического трения в контакте

Анализ внешнего вида образцов (рис.5), разрушенных в условиях гидродинамического трения по контактным поверхностям, показывает, что радикально уменьшились не только усилия разрушения, а, следовательно, и характеристики прочности бетона, приведенные в табл. 1, но и радикально изменился вид разрушения.

Неучет рассмотренных причин влияния приводит к неоправданному завышению характеристик прочности бетона, а, следовательно, неизбежно приводит к аварийным ситуациям возводимых объектов, поскольку вводимые и ранее принятые коэффициенты запаса уже не будут перекрывать фактически объективную и меньшую, по сравнению с принятой в расчете, характеристику прочности.

Следует отметить также, что аналогичные условия возникают при обследовании зданий и сооружений при изменении их функционального назначения, что особенно актуально в современных условиях.

При обследовании зданий и сооружений для оценки степени деградации бетона ГОСТ 28570-90 рекомендует выпиливать или выбуривать цилиндрические образцы диаметром от 44 до 150 мм и высотой от 0,8 до 2,0 диаметров. Такие типы образцов стандарт рекомендует тогда, когда невозможно изготовить образцы согласно ГОСТ 10180-2012.

Так как при обследовании зданий весьма часто выбуривают цилиндрические образцы, то целесообразно провести испытания для определения прочности на сжатие таких образцов, используя стандартную и предлагаемую нами методику проведения испытаний.

Различные формы разрушенных цилиндрических образцов, результаты которых следует учитывать при подсчете характеристик прочности бетона, приведены на рис. 6.

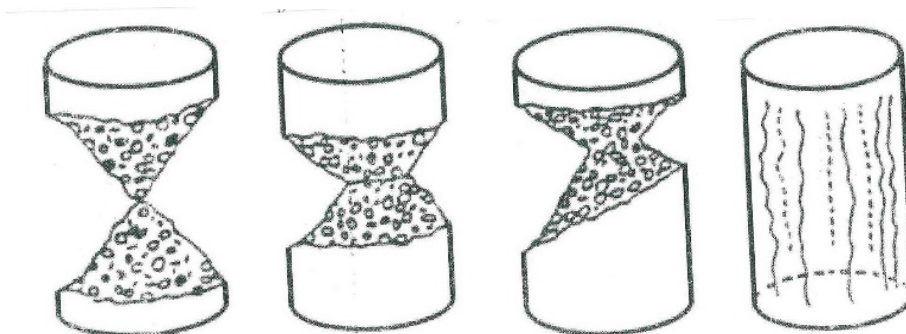


Рис. 6 – Формы разрушения цилиндрических образцов, результаты испытаний которых подлежат учету

Нами были испытаны цилиндрические образцы, внешний вид которых после испытаний приведен на рис. 7.

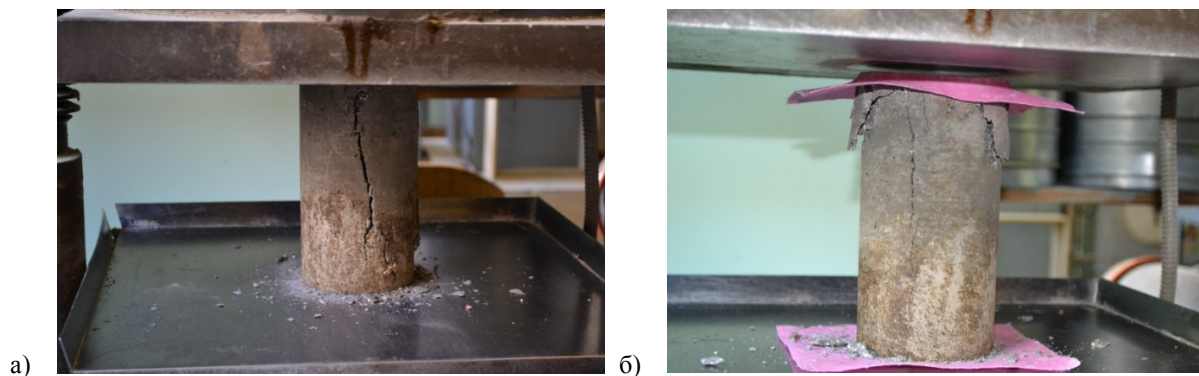


Рис. 7 – Внешний вид форм разрушения цилиндрических образцов диаметром 100 мм и высотой 200 мм при испытаниях на сжатие в режиме граничного (а) и гидродинамического (б) трения

Результаты испытаний по определению характеристик прочности бетонов В15 и В30 на цилиндрических образцах при песчаном заполнителе фракций от 0,63 до 2,5 мм приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Величины минимальных разрушающих нагрузок при испытании на сжатие цилиндрических бетонных образцов, кН
(размер диаметра – 100 мм; высота – 200 мм)

Класс бетона	Заполнитель песок – фракция заполнителя	По нормативной методике	Среднее значение	С учетом масштабного коэф-та 0,95	По предложенной методике	Среднее значение	С учетом масштабного коэф-та 0,95
В30	1,25 ... 2,5 мм	2550	2572,0	2443,4	1990	1980,0	1881,0
		2640			1900		
		2526			2050		
В15	1,25 ... 2,5 мм	1864	1883	1788,85	1320	1368	1299,9
		1905			1440		
		1880			1345		

Анализируя полученные результаты, несложно заметить, что при осесимметричном нагружении влияние сил трения несколько (на 10...15%) ниже, по сравнению с кубическими образцами. Это вполне объяснимо, поскольку выступающие углы кубических образцов создают значительную местную концентрацию напряжений на отдельных угловых зонах контактных поверхностей, что и приводит к отмеченному эффекту.

Таким образом, результаты выполненного исследования позволяют сделать следующие выводы:

- рекомендуемая стандартная методика определения характеристик прочности бетонов дает существенно завышенные результаты по значениям получаемых прочностных характеристик, что в условиях проектирования и эксплуатации строительных конструкций повышенного уровня ответственности значительно увеличивает риски возникновения аварийных ситуаций;
- предлагаемая методика экспериментального определения характеристик прочности бетонов в условиях гидродинамического режима трения не только позволит повысить объективность получаемых результатов, а, следовательно, снизить существенно риски возникновения аварийных ситуаций, но и просто в испытании, практически малозатратна и может быть эффективно использована в производственных условиях без существенных дополнительных затрат.

Литература

1. Гусев Б.В. Подходы к решению задач по оценке теоретической прочности бетона /Б.В. Гусев// Промышленное и гражданское строительство, 2013.-№7.-С.44-46.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов //М.:АСВ, 2002.-500с.
3. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон /О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко// М.: Стройиздат, 1971.-132с.
4. Абрамов Л.М. Об оценке влияния сил трения при определении прочности на сжатие по контрольным образцам /Л.М. Абрамов [и др.]// Бетон и железобетон, 2014.-№1.-С. 6-9.
5. Абрамов Л.М., Галкина М.А. Особенности определения механических характеристик прочности бетона при сжатии// Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – взгляд в будущее», том 1, стр. 12-20. Москва 12-16 мая 2014г.
6. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Госстрой СССР, 1989-38с.
7. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [текст]. – М: Госстрой РФ, 2004. – с.58
8. Абрамов Л.М. О напряженно – деформированном состоянии элементов узла контакта типа «металл-бетон» при испытаниях на сжатие изотропных бетонных образцов /Л.М. Абрамов, И.Л. Абрамов, М.А. Галкина//М.: изд-во «ПГС», Промышленное и гражданское строительство, 2015. - №8.-С.71-75.

References

1. Gusev B. V. Approaches to solving tasks to assess the theoretical strength of concrete /B. V. Gusev// Industrial and civil engineering, 2013.-№7. p. 44-46.
2. Bazhenov, Y. M. Technology of concrete / Yu. M. Bazhenov //Moscow:ASV, 2002.-500p.
3. Berg, O. Ya., Shcherbakov, E. N., Pisanko G. N. High-strength concrete /A. J. Berg, E. N. Shcherbakov, G. N. Pisanko// M.: Stroizdat, 1971.-132p.
4. Abramov, L. M. estimation of the effect of friction forces in determining the compressive strength for control samples / L. M. Abramov [et al.]// Concrete and reinforced concrete, 2014 no.1.- 6-9 p.
5. Abramov L. M., Galkin, M. A. Peculiarities of determination of mechanical characteristics strength of concrete in compression// proceedings of the III all-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete "Concrete and reinforced concrete – glance at future", vol. 1, pp. 12-20. Moscow may 12-16, 2014.
6. GOST 10180-2012. The concretes. Methods for determination of strength to control samples. M: Gosstroy of the USSR, 1989-38p.
7. SP 52-101-2003 concrete and reinforced Concrete structures without prestressing [text]. – M: Gosstroy of the Russian Federation, 2004. – p. 58
8. L. M. Abramov, On the stress – strain state of elements of the contact type "metal-concrete" when tested on isotropic compression of concrete samples /L. M. Abramov, I. L., Abramov, M. A. Galkina//M.: Izd-vo "ice", in Industrial and civil construction, 2015. - No. 8.-p. 71-75.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.136

Анищенко С.С.

Аспирант, Омский государственный технический университет

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ФЛАНЕЦ» ЧЕРЕЗ СТАНКО-ЧАС*Аннотация*

В статье рассмотрено – расчет трудоемкости изготовления детали «фланец» через станко-час. Расставлены акценты для рационального использования новейших программных станков и устаревших программных и универсальных. Проведен детальный анализ по использованию в каждом конкретном случае новейших программных станков или устаревших универсальных и программных. Подробно рассмотрено понятие станко-часа в производственном процессе. Рассчитана часовая стоимость использования токарно-фрезерного станка с числовым программным управлением SP-280.

Ключевые слова: станко-час, металлорежущий станок с ЧПУ, трудоемкость.

Anischenko S.S.

Postgraduate, Omsk State Technical University

EXAMPLE OF CALCULATING THE COMPLEXITY OF MANUFACTURING PARTS "FLANGE" THROUGH THE MACHINE-HOUR*Abstract*

In the article - the calculation of the complexity of manufacturing parts "flange" through the machine-hour. Placed accents for the rational use of the latest software tools and obsolete software and universal. A detailed analysis of the use in each case the latest software tools or legacy software and universal. Details discussed the concept of machine-hours in the manufacturing process. Calculated hourly cost of using thread-milling machine with numerical control of SP-280.

Keywords: machine-hour, cutting machine, CNC labor input.

В настоящее время происходит техническое перевооружение на промышленных предприятиях (машиностроение, автомобилестроение и т.д.). Закупается новое современное, дорогостоящее программное оборудование. Считается, что чем больше будет его загрузка, тем быстрее оно окупится. Поэтому происходит загрузка станка в 3 смены, для более быстрой амортизации. Однако не всегда учитывается, что чем более несвойственна номенклатура обработки станка, тем быстрее теряется точность обработки и оборудование скорее выходит из строя. Так же на современном предприятии, для более полного и комплексного анализа трудоемкости изготовления деталей, ввести понятие станко-час.

Станко-час определяет стоимость эксплуатации (затраты на оборудование) в конкретных производственных условиях. При перенесении оборудования в другие условия стоимость станко-часа меняется. Любой станок, если его перенести в другой цех или на другое производство, будет иметь другую стоимость станко-часа, поскольку изменятся какие-либо составляющие затрат. Поэтому нельзя оперировать понятием «для данного станка станко-час равен столько-то рублей», необходимо указывать место и условия эксплуатации оборудования. Особенностью станко-часа является также то, что он не зависит от продукции, которая выпускается на станке. Даже при переходе на выпуск других изделий стоимость станко-часа остается неизменной. В то же время технология производства может косвенно влиять на станко-час. В качестве примера приведем ситуацию, когда из-за неоптимального выбора геометрии инструмента или режимов обработки имеет место плохое стружкодробление - образование длинной стружки. Эта длинная стружка плохо отводится транспортером и может вызывать его заклинивание, что в свою очередь увеличивает расходы на обслуживание станка, входящие в стоимость станко-часа. Станко-час в целом определяет затраты на содержание оборудования, не зависящие от выпуска деталей. Это означает также, что эти затраты присутствуют даже тогда, когда станок простаивает по тем или иным причинам. По величине станко-часа можно определить убытки, вызванные простоями станка по техническим или организационным причинам. Иными словами, каждый час простоя станка приносит убыток, равный стоимости станко-часа этого станка.

Для расчета стоимости станко-часа существуют различные методики. К сожалению, практически все существующие методики не являются полностью пригодными для использования в современном производстве на российских предприятиях. Во времена плановой экономики была принята методика расчета стоимости станко-часа по приводным коэффициентам. Были выбраны базовые модели станков для каждой группы, и для них был рассчитан станко-час [1]. В данном исследовании используется следующее оборудование:

- Универсальное оборудование (токарный станок 16к20, вертикально-фрезерный станок 6н81). Стоимость станко-часа универсального станка составляет 500р.
- Устаревшее программное оборудование. В работе рассмотрен токарный программный станок ера-320 (Рис.1) [2], фрезерный программный станок МА-655(Рис.2) [3].



Рис. 1 – Токарный станок с ЧПУ ЕРА-320



Рис. 2 – Вертикально-фрезерный станок МА-655

Стоимость станко-часа составляет 1000р.
Токарно-фрезерный станок SP-280Y (Рис.3) [4].



Рис. 3 – Токарно-фрезерный станок SP-280

1. Расчет станко-часа станка SP-280*1.1 Расчет амортизации станка:*

$$A = 30\,000\,000 / (5 \cdot 12 \cdot (176 \cdot 2)) = 1420 \text{ р.}$$

1.2 Расчет заработной платы:

Заработная плата рабочего составляет 40000р.

$$\text{Зп в час} = 40000 / 176 = 227 \text{ р., } \text{Нр} = 3,5.$$

$$\text{Ст.ч SP-280} = (1420 + (227 \cdot 3,5)) \cdot 1,1 = 2436 \text{ р.}$$

Неэффективность обработки некоторых типов деталей на программном оборудовании.

Пример 1. Изготовление детали типа фланец

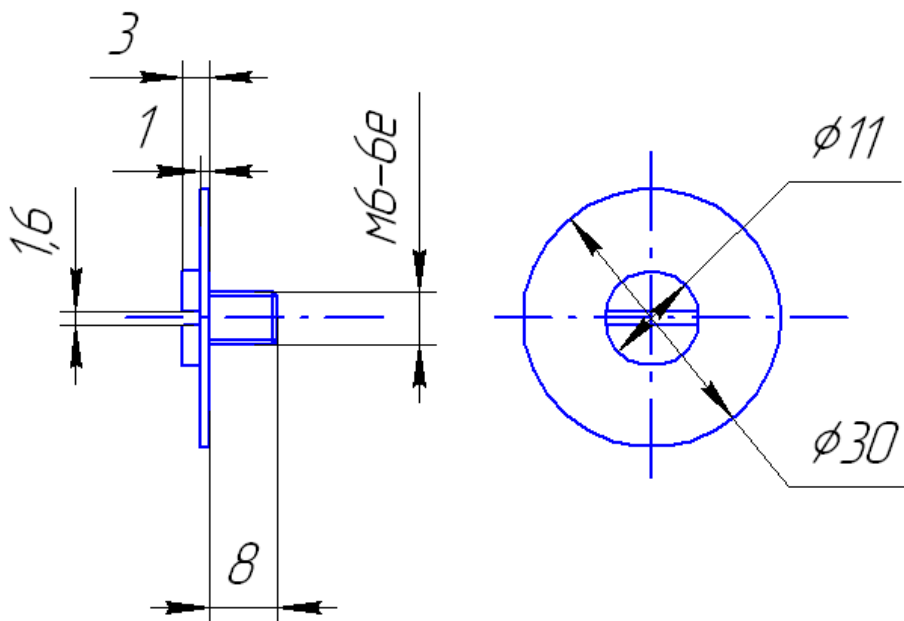


Рис. 4 – Пример 1. Чертеж детали «Фланец»

$T_{y1} = 20 \text{ мин} + 1 \text{ ч. ПЗ}$, где T_{y1} – трудоемкость изготовления одной детали «фланец» на устаревшем программном и универсальном оборудовании.

(11 мин + 1 ч. ПЗ) – время затраченное станком ера -320.

8 мин – время затраченное универсальным оборудованием.

$T_{n1} = 7 \text{ мин} + 1,5 \text{ ПЗ}$, где T_{n1} – трудоемкость изготовления одной детали «фланец» на новом программном оборудовании, станке SP-280.

Принимается, что количество деталей в партии составляет 30 шт.

Расчет общей трудоемкости изготовления деталей по двум технологическим процессам

$T_y = (30 \cdot 0,183) + (30 \cdot 0,133) + 1 = 10 \text{ ч } 29 \text{ мин}$, где T_y – трудоемкость изготовления деталей «фланец» в количестве 30 штук.

$T_n = (30 \cdot 0,117) + 1,5 = 5 \text{ ч}$, где T_n – трудоемкость изготовления деталей «фланец» в количестве 30 штук.

Расчет стоимости станко-часа

Ст.ч У= (1000* 6,49) + (500+ 3,99) = 8485 р., где Ст.ч У- стоимость станко- часа устаревшего программного и универсального оборудования.

Ст.ч Н= 2436* 5= 12180 р., где Ст.ч Н- стоимость станко-часа нового программного оборудования.

ВЫВОД: трудоемкость изготовления деталей на устаревшем оборудовании в 2 раза больше, чем на новом. Стоимость изготовления на новом оборудовании примерно в 1,5 раза больше. Исходя из идеологии, о том, что на новых программных станках необходимо изготавливать детали с высоким классом точности и высокой чистотой обработки, сделаем вывод, что изготовление данной детали типа «фланец» будет выгодно на новом оборудовании, только в случае её аварийности в производственном процессе. Так же её выполнение возможно, в случае отсутствия загрузки у нового оборудования, в остальных случаях предпочтительнее использовать устаревшее оборудование для изготовления данной партии деталей.

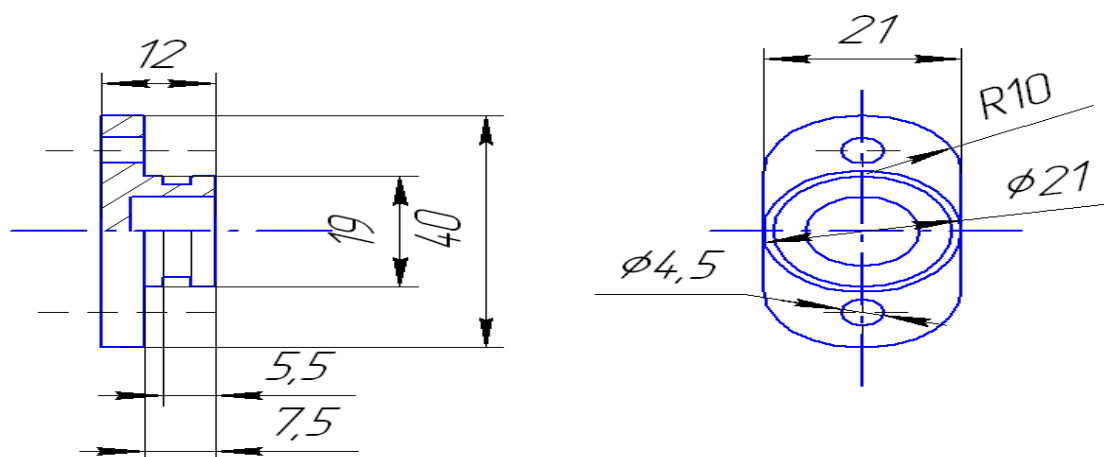
Пример 2. Изготовление детали типа фланец

Рис. 5 – Пример 2.Чертеж детали «Фланец»

$T_{y1} = 37 \text{ мин} + 3 \text{ ч. ПЗ}$, где T_{y1} - трудоемкость изготовления одной детали «фланец» на устаревшем программном и универсальном оборудовании.

(25 мин + 1,5ч. ПЗ)- время затраченное станком ера -320.

(12 мин + 1,5ч. ПЗ) – время затраченное на выполнение операции на фрезерном станке с ЧПУ МА-655.

$T_{n1} = 12 \text{ мин} + 2,5 \text{ ПЗ}$, где T_{n1} – трудоемкость изготовления одной детали «фланец» на новом программном оборудовании, станке SP-280.

Принимается, что количество деталей в партии составляет 30 шт.

Расчет общей трудоемкости изготовления деталей по двум технологическим процессам

$T_y = (30 * 0,417) + 1,5 + (30 * 0,2) + 1,5 = 21 \text{ ч } 30 \text{ мин}$, где T_y – трудоемкость изготовления деталей «фланец» в количестве 30 штук.

$T_n = (30 * 0,2) + 2,5 = 8,5 \text{ ч}$, где T_n - трудоемкость изготовления деталей «фланец» в количестве 30 штук.

Расчет стоимости станко-часа

Ст.ч У= 1000* 21,5= 21500 р., где Ст.ч У- стоимость станко- часа устаревшего программного и универсального оборудования.

Ст.ч Н= 2436*8, 5= 20706 р., где Ст.ч Н- стоимость станко-часа нового программного оборудования.

ВЫВОД: трудоемкость изготовления деталей на устаревшем оборудовании в 2,5 раза больше, чем на новом. Стоимость изготовления примерно одинакова. Исходя из идеологии, о том, что на новых программных станках необходимо изготавливать детали с высоким классом точности и высокой чистотой обработки, сделаем вывод, что изготовление данной детали типа «фланец» будет выгодно на новом оборудовании, только в случае её аварийности в производственном процессе. Так же её выполнение возможно, в случае отсутствия загрузки у нового оборудования, в остальных случаях предпочтительнее использовать устаревшее оборудование для изготовления данной партии деталей.

Литература

1.Что такое станко-час? [Электронный ресурс] URL: <http://stanko-lid.ru/article/chto-takoe-stanko-chas.html> (дата обращения 27.03.2016).

2. Токарный станок ЧПУ [Электронный ресурс] URL: <http://www.fermatmachinery.com/poderzhannye-mashiny/tokarnyj-stanok/chpu-diamjetr-do-800-mm/epa-320-01-ru-122036/> (дата обращения 27.03.2016).

3. Вертикально-фрезерный станок МА-655 [Электронный ресурс] URL: https://yandex.ru/images/search?img_url=http%3A%2F%2Fwww.stanki-portal.ru%2Ffoto_ob%2Ffoto_90690.jpeg&text=%D0%BC%D0%B0-655%20%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE&noreask=1&pos=6&lr=66&rpt=simage (дата обращения 28.03.2016).

4. Токарный станок/ CNC многоосевых/ SP-280Y [Электронный ресурс] URL: <http://www.fermatmachinery.com/poderzhannye-mashiny/tokarnyj-stanok/cnc-mnogoosjevykh/sp-280-y-ru-151981/> (дата обращения 28.03.2016).

References

1. What is a machine-hour? [Jelektronnyj resurs] URL: <http://stanko-lid.ru/article/chto-takoe-stanko-chas.html> (data obrashhenija 27.03.2016).
2. CNC Lathe [Jelektronnyj resurs] URL: <http://www.fermatmachinery.com/poderzhannye-mashiny/tokarnyj-stanok/chpu-diamjetr-do-800-mm/epa-320-01-ru-122036/> (data obrashhenija 27.03.2016).
3. Vertical milling machine MA655 [Jelektronnyj resurs] URL: https://yandex.ru/images/search?img_url=http%3A%2F%2Fwww.stanki-portal.ru%2Ffoto_ob%2Ffoto_90690.jpeg&text=%D0%BC%D0%B0-655%20%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE&noreask=1&pos=6&lr=66&rpt=simage (data obrashhenija 28.03.2016).
4. Lathe / CNC multi-axis / SP-280Y [Jelektronnyj resurs] URL: <http://www.fermatmachinery.com/poderzhannye-mashiny/tokarnyj-stanok/cnc-mnogoosjevykh/sp-280-y-ru-151981/> (data obrashhenija 28.03.2016).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.157

Антониади Д.Г.¹, Лаврентьев А.В.²

¹Доктор технических наук, профессор, ²ORCID: 0000-0002-4701-2020, докторант,
Кубанский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОКОНВЕКЦИИ НА ПЕРЕНОС В ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация

Установлено, что электроконвекция приводит к существенному уменьшению эффективной толщины диффузионного слоя, так, например, при увеличении плотности тока в пять раз, толщина диффузионного слоя, монотонно убывая, падает практически в 5,5 раз.

Получена оценка: электроконвективные вихри имеют макроскопический размер, возмущения охватывают практически весь канал. Созданные модели, соответствующий математический аппарат и полученные фундаментальные результаты могут быть использованы в следующих практических целях: 1) при решении задач тепло- и массопереноса в экологии, в которых учитывается влияние электрического поля, вынужденной конвекции; 2) для совершенствования геометрических характеристик электромембранных модулей, в частности, конструкций электродиализных аппаратов; 3) для оптимизации условий эксплуатации существующих электромембранных систем очистки воды; 4) для выявления наиболее приемлемых параметров поверхности новых материалов, применяемых в мембранных нанотехнологиях.

Ключевые слова: электроконвекция, электромембранные системы очистки вод, математические модели.

Antoniady D.G.¹, Lavrentiev A.V.²

¹PhD in Engineering, professor, ²ORCID: 0000-0002-4701-2020, Doctoral student, Kuban State Technological University

INFLUENCE OF ELECTROCONVECTION ON TRANSPORT IN THE ELECTROMEMBRANE SYSTEMS FOR CLEANING MASSIVE GROUND AND SEWAGE WATER

Abstract

Established that electroconvection leads to a significant reduction in the effective thickness of the diffusion layer, for example, by increasing the current density in five times the thickness of the diffusion layer decreases monotonically decreases practically by 5.5 times.

An estimate is obtained: electric convective vortices have a macroscopic size, indignation cover almost the entire channel. The created models, the corresponding mathematical apparatus and obtained fundamental results can be used in the following practical reasons: 1) in solving of tasks of heat and mass transfer in the environment, which take into account the influence of the electric field, forced convection; 2) to improve geometrical characteristics of the electromembrane modules in particular constructions electrodialysis apparatus; 3) to optimize the of operating conditions existing electromembraneof water treatment systems; 4) to identify the most acceptable parameters of the surface new materials used in membrane nanotechnology.

Keywords: electroconvection, electromembrane systems of water treatment, mathematical models.

Далее рассмотрим явление электроконвекции, возникающей вследствие неоднородной электропроводности поверхности ионообменных мембран.

Неоднородность электрического поля, возникающая, вследствие неоднородной поверхности мембраны вызывает появление пространственной электрической (кулоновской) силы.

Эта электрическая сила воздействует на пространственный заряд, локализованный вблизи межфазной границы раствор/мембрана.

В результате воздействия электрической силы в некотором месте возникает избыточное давление, выталкивающее раствор. При своем движении выдавленная часть раствора встречает инерционное сопротивление невозмущенных слоев электролита и поверхности мембраны, что вызывает изменение направления движения жидкости, а именно удаление ее от поверхности мембраны, вследствие чего образуются два разнонаправленных вихря (рисунок 1). Эти вихри облегчают доставку ионов соли к межфазной границе и частично разрушают диффузионный слой, что приводит к уменьшению величины электрической силы.

Это в свою очередь вызывает уменьшение величины вихрей и соответственно влияния электроконвекции на массоперенос. Таким образом, с учетом диссипации энергии электроконвекция прекратится еще до того, как ток уменьшится до значения, равного предельному электродиффузионному току.

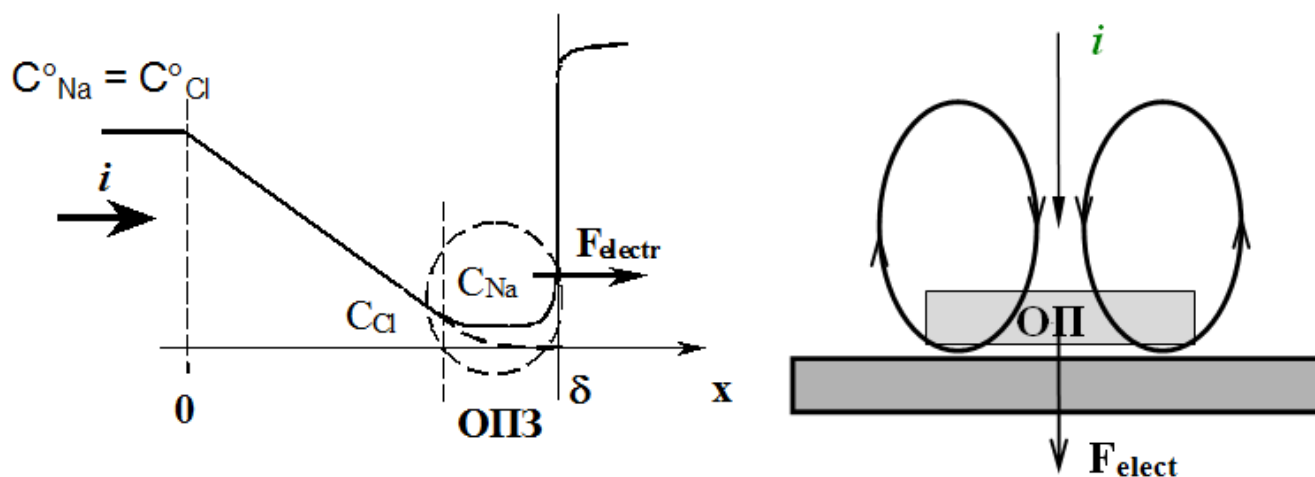


Рис. 1 – Механизм возникновения электроконвекции

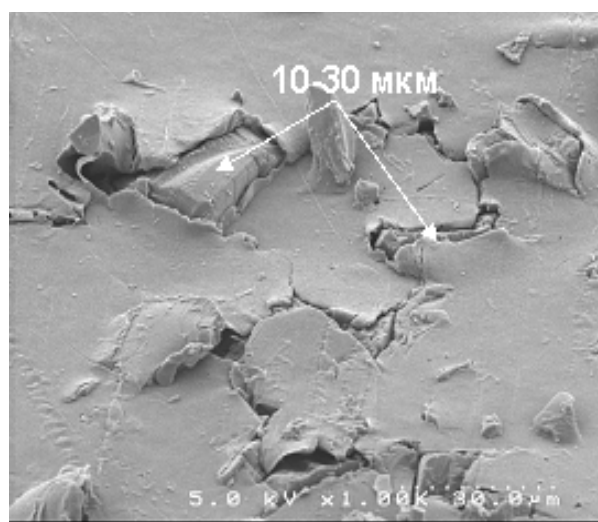
Ожидается, что электроконвекция должна приобретать большую роль с уменьшением концентрации раствора [2].

Исходя из этих рассуждений, получаем, что необходимым условием возникновения электроконвекции являются:

а) электрическая неоднородность поверхности мембраны. Эта неоднородность обусловлена структурой образования мембраны. Визуально поверхность мембраны представлена на рисунке 2. Армированная сетка полиэтилена помещается в ионообменную смолу. Под действием температуры и давления данное соединение раскатывается, в результате чего образуется мембрана. Как видно из указанного рисунка поверхность мембраны электрически является неоднородной.



а



б

Рис. 2 – (а) Фотография поверхности ионообменной мембраны МА-41, полученной электронным микроскопом в Европейском Институте Мембран (г.Монпелье Франция) [1]. (б) Увеличенное изображение участка поверхности мембраны, где видно, что смола прорывает полиэтилен

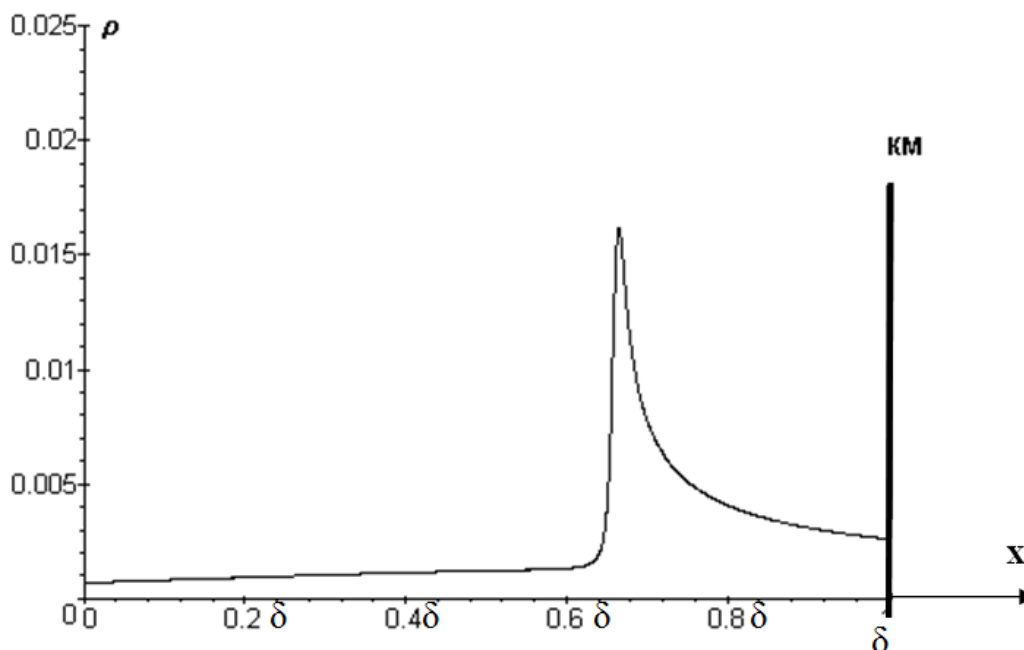


Рис.3 – Распределение плотности электрического заряда в диффузионном слое из расчета одномерной модели (КМ – катионообменная мембрана)

Смола прорывает полиэтилен. И с учетом того, что смола пропускает электрический ток, а полиэтилен является изолятором и не пропускает электрический ток, то можно утверждать, что мембрана имеет электрически неоднородную поверхность. Наличие этой неоднородности можно считать, таким образом, установленной экспериментально;

б) наличие пространственного заряда, локализованного на некотором расстоянии от межфазной границы. Численный и асимптотический анализ модельных краевых задач для указанной выше системы уравнений Нернста-Планка и Пуассона в одномерном случае показывает наличие пространственного заряда, локализованного на некотором расстоянии от межфазной границы (рисунок 3) [3, 4].

в) величина электрической силы должна быть достаточно большой. Электрическое число Грасгофа

$$Gr_E = \frac{F_E h^3}{\rho \nu^2},$$

достигает величин $10^6 - 10^8$ уже при скачке потенциалов 3–4 В на парную камеру;

г) при моделировании электроконвекции кулоновская сила, как массовая сила, входит в правую часть системы уравнений Навье-Стокса.

Расчеты вихрей, полученные в результате решения краевой задачи для этой системы с соответствующими граничными условиями для указанных выше чисел Грасгофа и сил специального вида, показывают, что вихри захватывают большую часть канала обессоливания [3, 5];

д) можно ожидать, что электроконвекция вызывает уменьшение эффективной толщины диффузионного слоя, что в свою очередь быстро приводит к уменьшению величины электрической силы и соответственно влияния электроконвекции и в результате возникает некоторое равновесие, которому соответствует определенная эффективная толщина диффузионного слоя, которую будем называть «равновесной».

Для составления математической модели необходимо установить связь между числовыми характеристиками вихрей и массопереносом и на основе, которой составить уравнение для «равновесной» толщины диффузионного слоя, а также решить это уравнение.

Независимо от природы образования, вихри в канале обессоливания электродиализатора приводят к интенсификации массопереноса, т.е. к дополнительному массопереносу по сравнению с безвихревым случаем.

Как видно из рисунка 4, дополнительный подвод ионов соли происходит за счет составляющей скорости V_x , которая в безвихревом течении равна нулю.

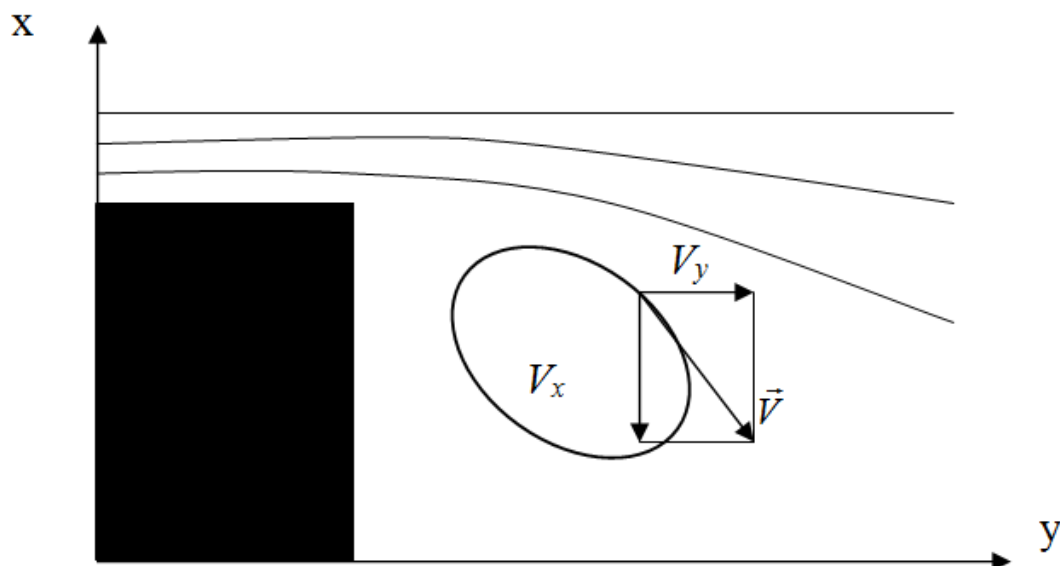


Рис. 4 – Схема к выводу характеристики массопереноса в каналах с препятствием

Чтобы установить связь между числовыми характеристиками вихря и массопереносом, проанализируем характеристики массопереноса в каналах без препятствия и с препятствием.

Характеристики массопереноса в каналах без препятствий

Гидродинамические свойства безвихревого течения характеризуются числом Рейнольдса

$$Re_y = \frac{2V_y H}{\nu}; (V_x = 0),$$

которое выражает отношение сил инерции к силам вязкости.

Отношение сил вязкости к силам диффузии выражается числом Шмидта:

$$Sc = \frac{\nu}{D}.$$

Скорость массопереноса определяется числом Шервуда, которое с учетом связи предельной плотности тока i_{\lim} с толщиной диффузионного слоя δ может быть выражено в двух формах:

$$Sh = \frac{i_{\lim} d_e (T_1 - t_1)}{FDC_0} = \frac{d_e}{\delta},$$

где T_1 и t_1 – соответственно эффективное число переноса противоионов в мембране и в растворе; d_e – характерный размер, который для каналов ширины H равен $d_e = 2H$.

Для не слишком длинных (L) и гладких каналов толщина диффузионного слоя может быть рассчитана по формуле [3]

$$\delta = 1.02(LDH/V_y)^{1/3}.$$

Следовательно, формулы для локального и интегрального чисел Шервуда принимают, соответственно, вид:

$$Sh_y = 1.23[Re_y Sc(2H/L)]^{1/3},$$

$$Sh_y = 1.85[Re_y Sc(2H/L)]^{1/3}.$$

Характеристики массопереноса в каналах с препятствиями.

Для каналов с препятствиями $V_x \neq 0$, и поэтому естественно наряду с числом Re_y ввести в рассмотрение еще одно число Рейнольдса:

$$Re_x = \frac{V_x d}{\nu},$$

где d – "диаметр" вихря. Добавочный массоперенос можно теперь описать по аналогии с этой формулой еще одним числом Шервуда:

$$Sh_x = k_2 Re_x^{n_2},$$

а общий массоперенос – общим числом Шервуда:

$$Sh = k_1 Re_y^{n_1} + k_2 Re_x^{n_2}.$$

Заметим, что число Шервуда, вследствие формулы (6.1), зависит от "диаметра" вихря d , т.е.

$$Sh(d) = k_1 Re_y^{n_1} + k_2 Re_x^{n_2}.$$

Коэффициенты k_1 , n_1 в этой формуле берем такие же, как для ламинарного течения, т.е. $k_1=1.23$, $n_1=0.33$, n_2 полагаем равным 1, а k_2 рассчитываем, используя экспериментальные данные по массопереносу в системах с спейсерами. При этом размер вихря d полагается равным высоте препятствия. В таблице 1 представлены экспериментальные данные, полученные на кафедре физической химии КубГУ.

Таблица 1 – Зависимость Sh от Re

Sh	2	4	5	6	7	8	10
Re	1	8	10	40	50	75	90

Ниже на рисунке 5 приведен график, построенный по исходным данным, и график аппроксимирующий их функции.

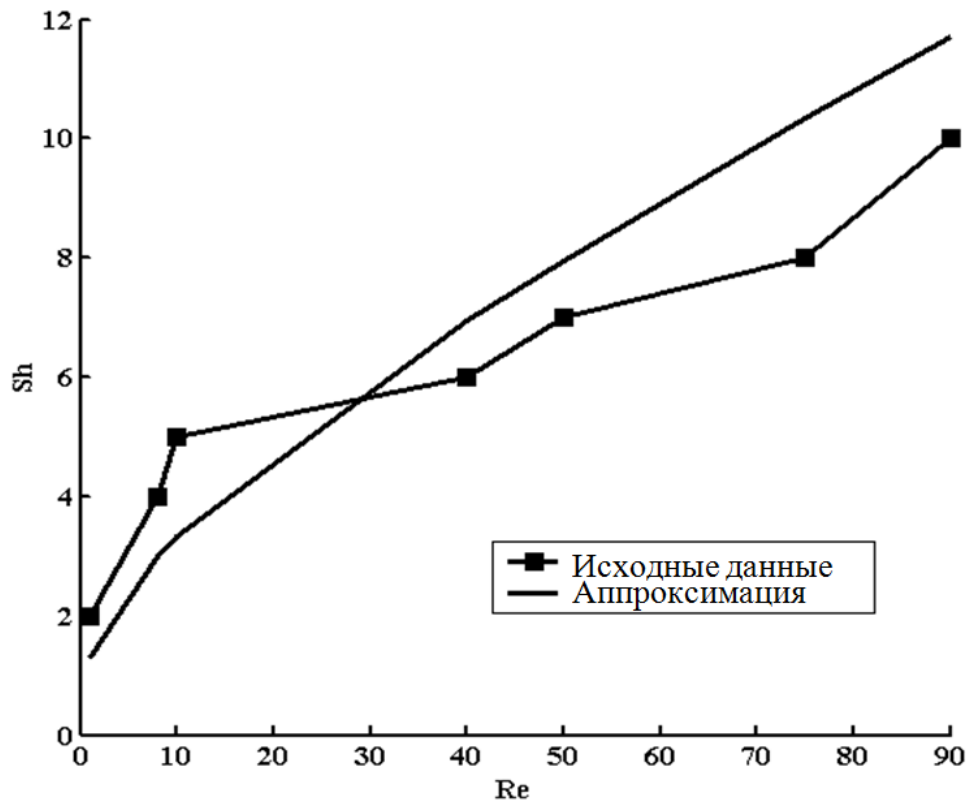


Рис.5 – Графики исходных данных и аппроксимирующей их функции. Расчеты производятся при следующих значениях: $k_1 = 1,23$; $n_1 = 0,33$; $k_2 = 0,069661$; $n_2 = 1$.

«Диаметр» вихря d зависит от величины массовой силы \vec{F} , которая, в свою очередь, зависит от безразмерной толщины диффузионного слоя δ , т.е. $d = d(\delta)$ и таким образом число Шервуда также зависит от δ , т.е. $Sh = Sh(\delta)$.

С использованием числа Шервуда Sh , толщина диффузионного слоя находится по формуле

$$\delta = \frac{2H}{Sh(\delta)},$$

откуда получаем следующее уравнение для толщины диффузионного слоя δ :

$$Sh(\delta)\delta - 2H = 0.$$

Вид полученного выше уравнения определяется зависимостью числа Шервуда Sh от толщины диффузионного слоя δ . Нахождение этой зависимости представляет собой нетривиальную задачу математического моделирования решенную в [3]. С учетом полученной в [3] зависимости для толщины диффузионного слоя δ получается квадратное уравнение, при помощи которого и вычисляется данная величина.

Зная δ и используя конечно-разностные методы можно рассчитать все характеристики массопереноса.

Приведем некоторые результаты численного анализа [6].

На рисунках 6 и 7 приведены линии тока жидкости.

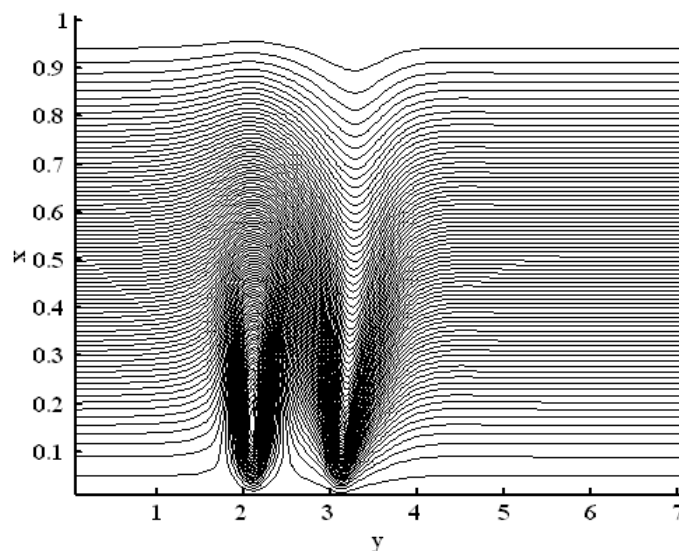


Рис. 6 – Функция тока жидкости

На рисунке 6 раствор прокачивается слева направо. В области от 2.1 до 2.3 по y и от 0 до 0.5 по x образуется вихрь, закручивающийся по часовой стрелке. В области от 3.1 до 3.3 по y и от 0 до 0.5 по x вихрь не образуется, но происходит сильное искривление течения.

На рисунке 7 представлен график функции тока жидкости, на котором видны числовые значения функции тока. В области от 2.1 до 2.3 по y и от 0 до 0.5 по x , где образуется вихрь, который закручивается по часовой стрелке, функция тока принимает положительные значения, а в области от 3.1 до 3.3 по y и от 0 до 0.5 по x принимает отрицательные значения.

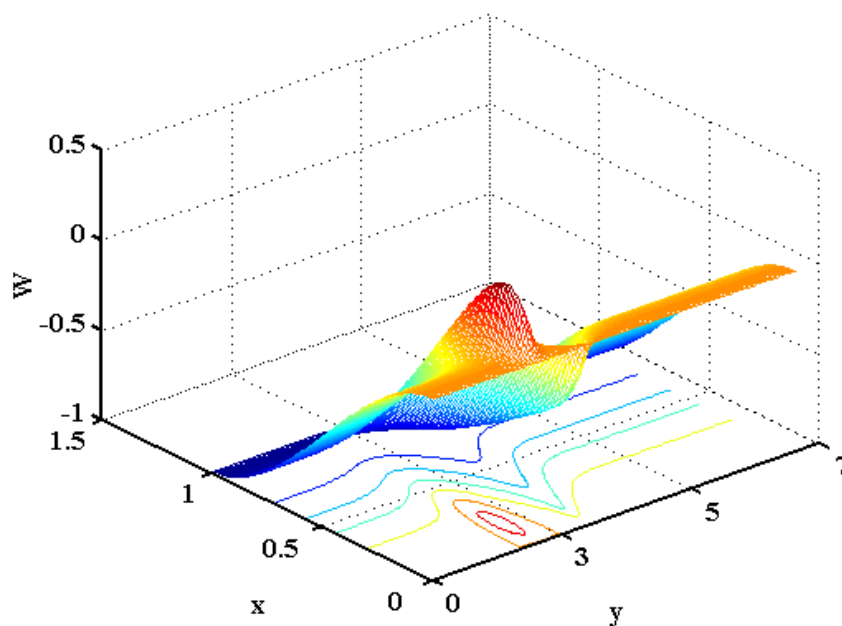


Рис. 7 – Функция тока жидкости

На рисунке 8 приведены зависимость толщины диффузионного слоя δ (см) от плотности тока $i^{(d)}$, причем расчеты проведены при следующих данных: $D_0^{(d)} = 1.61 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, $C_0^{(d)} = 10^{-4} \text{ моль/см}^3$, $F = 96484.56 \text{ Кл/моль}$, $H = 5 \text{ см}$, $\nu = 0.01 \text{ см}^2/\text{с}$, $u = 10 \text{ см/с}$, $\text{Re}_y = 10$.

Из рисунка видно, что при увеличении плотности тока в пять раз, толщина диффузионного слоя, монотонно убывая, падает практически в 5,5 раз.

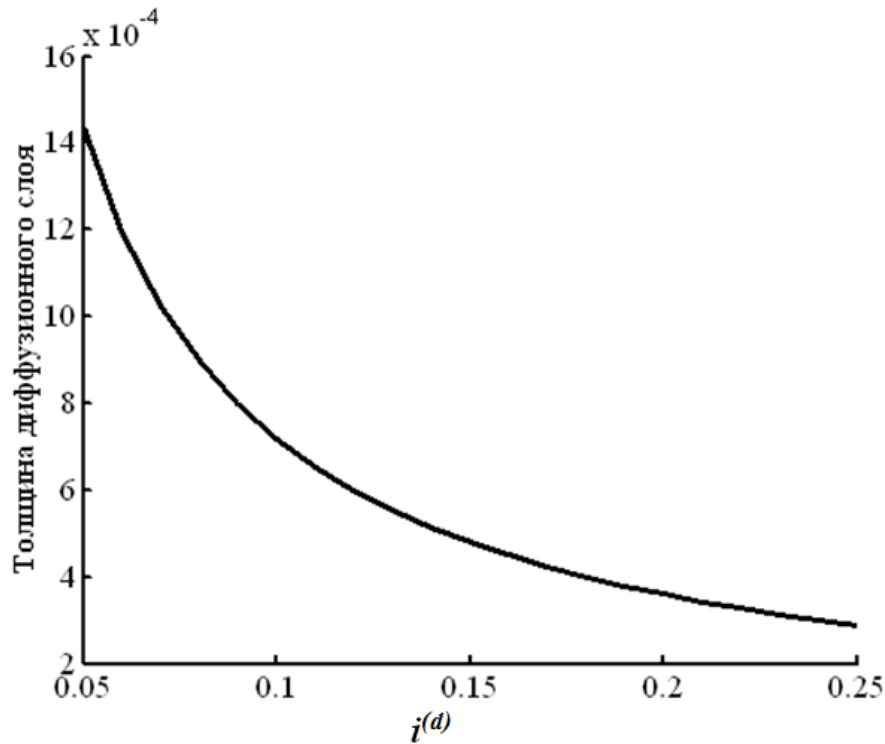
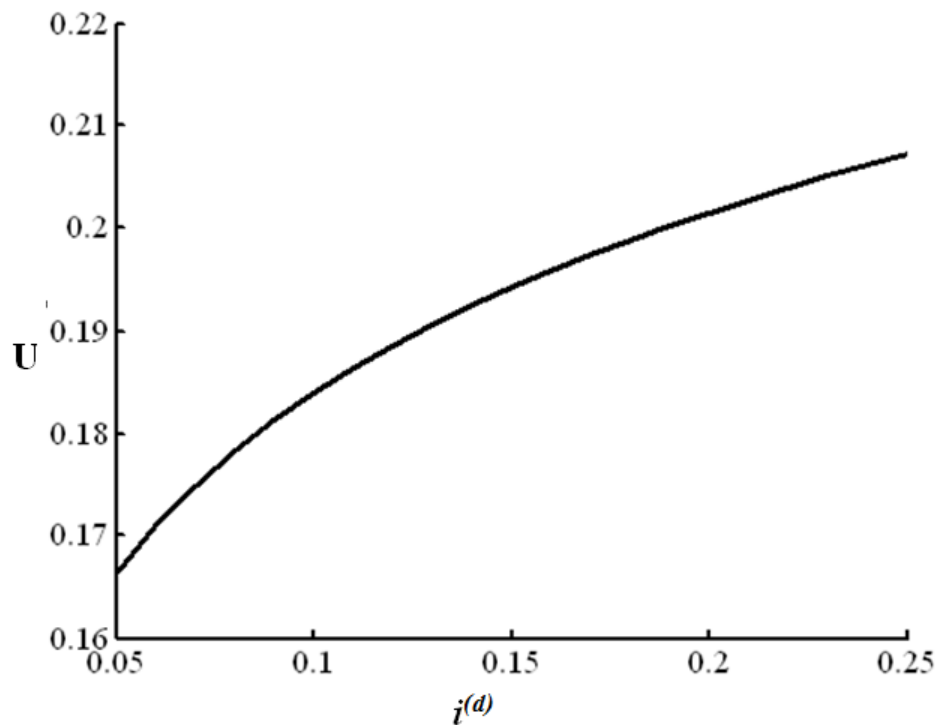
Рис. 8 – Поведение толщины диффузионного слоя δ (см) в зависимости от плотности тока $i^{(d)}$ (А/см²)

Рис. 9 – Поведение вольтамперной характеристики

На рисунке 9 приведена вольтамперная характеристика, рассчитанная с использованием математической модели. Видно, что с увеличением плотности тока $i^{(d)}$ от 0.05 до 0.25 А/см², падение потенциала также увеличивается, монотонно возрастаая, причем она увеличивается примерно в 2 раза при увеличении плотности тока в 5 раз. Заметим, что на кривой отсутствует выраженное «плато», возникающее в моделях, не учитывающих явление электроконвекции.

Анализируя, полученные выше результаты можно сделать выводы:

1. Установлено, что электроконвекция приводит к существенному уменьшению эффективной толщины диффузионного слоя, так, например, при увеличении плотности тока в пять раз, толщина диффузионного слоя, монотонно убывая, падает практически в 5,5 раз.
2. Получена оценка: электроконвективные вихри имеют макроскопический размер, возмущения охватывают практически весь канал.
3. Созданные модели, соответствующий математический аппарат и полученные фундаментальные результаты могут быть использованы в следующих практических целях: 1) при решении задач тепло- и массопереноса в экологии, в которых учитывается влияние электрического поля, вынужденной конвекции; 2) для совершенствования

геометрических характеристик электромембранных модулей, в частности, конструкций электродиализных аппаратов; 3) для оптимизации условий эксплуатации существующих электромембранных систем очистки воды; 4) для выявления наиболее приемлемых параметров поверхности новых материалов, применяемых в мембранных нанотехнологиях.

Литература

1. Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т., Бахтыбаев Н.Б. О дилатансии горных пород при их разрушении // Вестник КазНТУ, 2008. – № 5 – С. 21-36.
2. Лаврентьев А.В. Антониади Д.Г. Влияние сопряженной конвекции на процесс электродиализной очистки сточных вод. Научно-технический журнал «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе». 2015. № 12. – С. 38-44.
3. Лаврентьев А.В., Письменский А.В., Уртенев М.Х. Математическое моделирование переноса в электромембранных системах с учётом конвективных течений (монография). – Краснодар: Изд-во КубГУ, 2006. – 146 с.
4. Лаврентьев А.В., Сеидова Н.М., Уртенев М.Х. Математические модели некоторых сопряжённых эффектов в электромембранных системах. – Краснодар: Издательство КубГУ, 2005.
5. Антониади Д.Г., Лаврентьев А.В. и др. Математическое моделирование электро-мембранной очистки пластовых и сточных вод. Труды IV Международной научно-практической конференции «Достижения и перспективы естественных и технических наук». Направление «Охрана окружающей среды и экология». – Ставрополь, 2014. – С.
6. Лаврентьев А.В. Описание нестационарного неизотермического процесса переноса ионов при электромембранной очистке воды. Материалы XI Международной научно-практической конференции «Науки о земле на современном этапе». – М.: Издательство «Спутник+», 2014. – С. 68-76.

References

1. Caj B.N., Bondarenko T.T., Bahtybaev N.B. O dilatansii gornyh porod pri ih razrushenii // Vestnik KazNTU, 2008. – № 5 – S. 21-36.
2. Lavrent'ev A.V. Antoniad D.G. Vlijanie soprjazhennoj konvekcii na process jelektrodializnoj ochistki stochnyh vod. Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse». 2015. № 12. – S. 38-44.
3. Lavrent'ev A.V., Pis'menskij A.V., Urtenov M.H. Matematicheskoe modelirovanie perenosa v jelektromembrannyh sistemah s uchjotom konvektivnyh techenij (monografija). – Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2006. – 146 s.
4. Lavrent'ev A.V., Seidova N.M., Urtenov M.H. Matematicheskie modeli nekotoryh soprjazhjonnyh jeffektov v jelektromembrannyh sistemah. – Krasnodar: Izdatel'stvo KubGTU, 2005.
5. Antoniad D.G., Lavrent'ev A.V. i dr. Matematicheskoe modelirovanie jelektro-membrannoj ochistki plastovyh i stochnyh vod. Trudy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Dostizhenija i perspektivy estestvennyh i tehnikeskikh nauk». Napravlenie «Ohrana okruzhajushhej sredy i jekologija». – Stavropol', 2014. – S.
6. Lavrent'ev A.V. Opisanie nestacionarnogo neizotermicheskogo processa perenosa ionov pri jelektromembrannoj ochistke vody. Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauki o zemle na sovremennom jetape». – M.: Iz-datel'stvo «Sputnik+», 2014. – S. 68-76.



ПРИМЕР DOI:
10.18454/IRJ.2015.0001

Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

(Digital Object Identifier) — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.158

Антониади Д.Г.¹, Лаврентьев А.В.²¹Доктор технических наук, профессор, ²ORCID: 0000-0002-4701-2020, докторант,

Кубанский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ПЕРЕНОС В ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**Аннотация**

Показано, что успешного применения электромембранных систем требуется глубокое понимание процессов массопереноса в этих системах. Отсюда возникает необходимость в построении адекватных математических моделей различных видов конвективных течений и исследовании основных закономерностей переноса в этих условиях. Проведен анализ большого количества работ, посвященных построению и исследованию математических моделей электрохимических систем с учетом гравитационной конвекции. Установлено, что в этих работах ограничиваются рассмотрением сравнительно простых математических моделей при различных упрощающих предположениях. В частности, в них изучен в основном стационарный перенос, не рассматривается вынужденная конвекция и перенос тепла через мембрану, имеющие важное значение в ряде случаев. Следовательно, сегодняшний день не существует математических моделей, достаточно адекватно описывающих нестационарные неизотермические процессы переноса в электромембранных системах с учетом совместного действия различных видов конвекции, что и определяет актуальность данной работы.

Ключевые слова: электромембранные системы, перенос ионов, математические модели, гравитационная конвекция.

Antoniady D.G.¹, Lavrentiev A.V.²¹PhD in Engineering, professor, ²ORCID: 0000-0002-4701-2020, Doctoral student,

Kuban State Technological University

INFLUENCE OF GRAVITY CONVECTION TO TRANSFER IN ELECTROMEMBRANE SYSTEMS FOR CLEANING MASSIVE GROUND AND SEWAGE WATER**Abstract**

It is shown that the successful application of electro systems require a deep understanding processes of mass transfer in these systems. This makes it necessary to construct an adequate mathematical models of different types of convective flows and study the basic laws of transport in these conditions. The analysis of a large number of works devoted to the the construction and investigation of mathematical models of electrochemical systems with regard the gravity convection. It was found that in these works are limited to the consideration of comparatively simple mathematical models at various simplifying assumptions. In particular, they studied mainly stationary transfer is not considered and forced convection heat transfer through the membrane, which are important in several cases. Therefore, today there is no mathematical models that rather adequately describe the nonstationary nonisothermal transport processes in electro-membrane systems based on the combined action of various types of convection, and this determines the relevance of this work.

Keywords: electromembrane systems, transfer of ions, mathematical models, gravity convection.

Увеличение потока противоионов соли за счет эффекта превышения значения электрического тока над предельным $j_{i \text{ lim}}$ (экзальтации) в электромембранных системах относительно невелико. Например, оно составляет около $0.2 j_{i \text{ lim}}$, когда поток OH^- ионов достигает значений, равных $j_{i \text{ lim}}$. На практике приращение противоионов соли значительно выше [1, 2 - 3], следовательно, оно не может быть объяснено только эффектом экзальтации. Существенный вклад в сверхпредельный перенос противоионов соли должны вносить другие сопряженные эффекты. Именно речь идет о двух типах сопряженной конвекции, обеспечивающей дополнительное по сравнению с вынужденной конвекцией перемешивание раствора. Такое перемешивание вызвано локальными вихрями, возникающими в результате действия объемных сил, порожденных протеканием электрического тока [4]. Первый тип, сопряженной конвекции, гравитационная конвекция, развивается благодаря неравномерному распределению плотности раствора, которое является причиной возникновения объемной Архимедовой силы [5 - 7]. Заметим, что нередко в литературе можно встретить термины «естественная», «свободная», «термоконцентрационная» конвекция, используемые как синонимы гравитационной конвекции. Второй тип - электроконвекция, возникает вследствие действия электрического поля на пространственный электрический заряд в граничащем с мембраной обессоленном растворе [6].

В случае гравитационной конвекции возникновение объемной силы вызвано градиентами концентрации (концентрационная конвекция) и/или температуры (тепловая конвекция) [5-7]. В отличие от концентрационной, тепловая конвекция исследована достаточно подробно [5]. Это обусловлено, во-первых, относительно простым механизмом сил плавучести, во-вторых, более широким ее распространением [8, 9] и многочисленными техническими приложениями, в частности, для мониторинга окружающей среды [10, 11] и создания эффективных средств противопопылевой [12] и противопожарной защиты [13]. В электрохимических системах силы плавучести индуцируются электродными процессами, и гравитационная конвекция представляет значительно более сложное явление. В тепловых системах только градиент температуры определяет изменение плотности жидкости и плотность сил плавучести. В электрохимических системах раствор содержит несколько сортов ионов, и градиент концентрации каждого из них влияет на плотность сил плавучести. Кроме того, в растворах электролитов, наряду с диффузионным существует и электромиграционный поток ионов, пропорциональный напряженности электрического поля. Поэтому число переменных, описывающих гравитационную конвекцию в электрохимических системах, возрастает, а сами уравнения становятся более сложными, чем в тепловых системах, в результате возникает сложная картина нелинейных взаимодействий концентрационных, гидродинамических и электрических полей. В некоторых случаях

задачу о гравитационной конвекции в растворах электролитов можно свести к аналогичной проблеме для тепловой конвекции [5]. Однако, круг объектов, к которым применима такая аналогия, ограничен. Заметим, что оба типа гравитационной конвекции более вероятны в относительно концентрированных растворах, поскольку в них имеет место более сильный разогрев раствора и больший градиент концентраций [5, 7], обусловленные большей величиной предельной плотности электрического тока, в первом приближении пропорциональной концентрации раствора.

Явления, связанные с гравитационной конвекцией, можно разделить на два класса: *свободную конвекцию* и *конвективную устойчивость*. Свободная конвекция возникает в жидкости, если векторное произведение градиента плотности и вектора ускорения свободного падения удовлетворяет условию $\nabla \rho \times \vec{g} \neq 0$. Если же градиент плотности параллелен ускорению свободного падения \vec{g} , в жидкости возможно механическое равновесие. Однако это равновесие может оказаться неустойчивым, если плотность сил плавучести превысит некоторое критическое значение. При потере устойчивости амплитуда малых случайных возмущений начинает нарастать и в растворе возникают неравновесные диссипативные структуры, аналогичные ячейкам Бенара в неоднородно нагретой жидкости [14].

В случае *отсутствия вынужденной конвекции* (прокачивания раствора) известно [15], что, когда межфазная граница раствор/электрод (или мембрана) находится в вертикальном положении и градиент плотности раствора горизонтален, гравитационная конвекция возникает в беспороговом режиме, т.е. имеет место всегда и нарастает постепенно с увеличением тока/потенциала. Когда межфазная граница расположена горизонтально и плотность раствора, заключенного между двумя параллельными горизонтальными плоскостями, меняется по нормальной координате, возможны два случая. Если более легкий слой раствора (обедненный диффузионный слой) находится под рассматриваемой мембраной, а более тяжелый (обогащенный диффузионный слой) – над мембраной, конвекция вблизи этой мембраны не возникает. Если более легкий слой находится над мембраной, в развитии гравитационной конвекции имеется некоторый порог, определяемый значением числа Рэлея [16]:

$$Ra = GrSc = \frac{\bar{\rho}}{\rho} \frac{gX^3}{\nu^2} \frac{\nu}{D} = \frac{\bar{\rho}}{\rho} \frac{gX^3}{\nu D},$$

где $Gr = \frac{\bar{\rho}}{\rho} \frac{gX^3}{\nu^2}$ – число Грасгофа; $Sc = \nu/D$ – число Шмидта; $\bar{\rho}$ – изменение плотности раствора ρ

между верхней и нижней частью слоя толщиной X , в котором происходит вариация плотности раствора; g – ускорение свободного падения; ν – вязкость раствора, D – коэффициент диффузии электролита. Система стабильна, т.е. конвекция не возникает, если $Ra < Ra_{cr} = 1708$. В этом случае характерное время, которое необходимо для диффузионной диссипации флуктуации плотности в небольшом объеме раствора, меньше, чем характерное время всплытия этого объема. Если $Ra > Ra_{cr}$, то объем с отрицательным градиентом плотности всплывает с ускорением, поскольку плотность внутри всплывающего объема увеличивается медленнее, чем в окружающем его растворе. Амплитуда небольшого возмущения в этом случае увеличивается со временем, и раствор между двумя плоскостями достигает состояния, характеризуемого периодической ячеистой вихревой структурой, где жидкость в двух соседних ячейках (ячейках Бенара) вращается в противоположных направлениях [5,7]. Из теории тепломассопереноса известно, что в случае «пустого» (не содержащего сепаратора) канала прямоугольного сечения гравитационная конвекция не подавляется вынужденной конвекцией, если соблюдается условие: $Ri = Gr/Re^2 > 1$, где Ri – это число Ричардсона, а $Re = V_0 X / \nu$ – число Рейнольдса, V_0 – средняя линейная скорость вынужденного течения раствора.

Экспериментально роль гравитационной конвекции в увеличении массопереноса и уменьшении толщины обедненного диффузионного слоя при интенсивных токовых режимах была оценена с использованием вольтамперометрии и измерения парциальных чисел переноса ионов [17,18]. Её влияние на концентрационную поляризацию электромембранных систем изучали методами хронопотенциометрии и лазерной интерферометрии [19, 20]. Последний метод, а также микрофотосъемка с лазерной подсветкой [21, 22] были применены для визуализации конвективного движения жидкости. Параллельно структуру ячеек Бенара исследовали методом хронопотенциометрии [21, 22] с использованием Фурье - анализа полученных кривых. Фурье - анализ, а также вейвлет - анализ вольтамперных кривых позволил С.Ф. Тимашеву и сотрудникам [23] описать последовательность событий при развитии сопряженной конвекции у поверхности гомогенной катионообменной мембраны. В частности, было показано [23], что частота оборотов вихрей в стационарном состоянии электромембранной системы находится в области 0.1–0.4 Гц. Эти данные коррелируют с результатами Г.П. Весслера и соавторов [21], которые установили связь между характером колебаний потенциала на хронопотенциограммах и жизненным циклом вихрей у границы электрод/раствор. Авторы [21] показали также, что сопряженная конвекция может проявляться при $Ra < Ra_{cr} = 1708$, и объяснили это воздействием кулоновских сил, т.е. электроконвекцией.

Цикл экспериментальных исследований массопереноса в электродиализных каналах обессоливания [14] позволил установить, что гравитационная конвекция является доминирующей, когда концентрация раствора достаточно высокая (порядка 0.05 М и больше), межмембранное расстояние составляет 5-7 мм, а скорость течения раствора не превышает 0.3 см/с. С разбавлением раствора, уменьшением межмембранного расстояния и увеличением скорости течения вклад гравитационной конвекции в массоперенос уменьшается, а электроконвекции – увеличивается. Дополнительные физические поля, в частности, магнитное поле, могут усилить гравитационную конвекцию [24].

В соответствии со сложившимися к настоящему времени теоретическими представлениями, обзор которых можно найти в работах [7], основным механизмом развития электроконвекции в мембранных системах считается электроосмотическое скольжение второго рода (электроосмос II, согласно терминологии С.С. Духина и Н.А. Мишук [6], первыми изучавшими это явление). Электроосмос второго рода в мембранных системах возникает в результате взаимодействия электрического поля с индуцированным этим полем пространственным зарядом [25], появляющимся

в обедненном диффузионном слое у межфазной границы. Поскольку протяженность пространственного заряда увеличивается с разбавлением раствора [26], следует ожидать, что с уменьшением концентрации соли вклад электроконвекции в сверхпредельный массоперенос будет расти.

Выяснено, что для возникновения электроконвекции в мембранной системе необходимы три условия [27]:

- наличие достаточно большого пространственного заряда;
- локализация заряда в растворе на достаточном удалении от поверхности мембраны;
- неравномерное распределение пространственного заряда.

Интенсивность электроконвекции должна зависеть не только от протяженности и плотности пространственного заряда, а также величины приложенного электрического поля, но также и от стоковского радиуса ионов, формирующих область пространственного заряда. В самом деле, чем больше этот радиус, тем эффективнее жидкость должна вовлекаться в конвективное движение. С. Мун и сотрудники, по-видимому, первыми обратили внимание на это обстоятельство и сравнили вольтамперные характеристики мембраны СМХ в растворах различных электролитов. Они действительно обнаружили, что с ростом стоковского радиуса противоионов длина плато на вольтамперных характеристиках сокращается (чем короче плато, тем меньше напряжение, при котором начинается интенсивная сопряженная конвекция), а сопротивление электромембранной системы в сверхпредельных режимах уменьшается. Максимальная длина плато найдена в случае раствора HCl, поскольку перенос H^+ ионов в растворе осуществляется не по гидродинамическому, а по эстафетному механизму [28]. Наличие электроосмоса II было подтверждено экспериментально у поверхности гранул ионообменной смолы, помещенных в разбавленный раствор между двумя поляризуемыми электродами. О наличии электроконвекции в электромембранных системах свидетельствует рост массопереноса в тех случаях, когда другие сопряженные эффекты концентрационной поляризации подавлены [17, 18].

Кроме того, в таких системах методом хронопотенциометрии зафиксировано появление высокочастотных осцилляций потенциала при условиях, предсказываемых теорией И. Рубинштейна [7].

Таким образом, анализ научной литературы показывает, что в теоретических исследованиях тепловой конвекции были получены выдающиеся результаты, в частности построено автомодельное решение, описывающее свободную конвекцию при больших числах Грасгофа [29]. Однако попытка распространить эти результаты на электрохимические системы сталкивается с серьезными проблемами, обусловленными прежде всего, многокомпонентной природой сил плавучести и существованием миграционного тока. Как показано в обзорной работе В.М. Волгина и Д.А. Давыдова [5], большинство из этих проблем не получило своего адекватного решения, но именно они в настоящее время привлекают к себе все большее внимание так как их решение открывает возможность исследования новых физико-химических явлений, не известных в тепловой конвекции.

Вместе с тем, вклад конвекции и ее учет при описании и анализе явлений переноса в электрохимических и в мембранных системах весьма важен. Во многих случаях при решении такого рода задач достаточно ограничиться использованием модели диффузионного слоя Нернста [26, 28]. Однако существует ряд задач, когда невозможно корректно описать процесс без непосредственного учета конвективного переноса. Речь идет о протяженных каналах в электрохимических мембранных системах, когда толщина диффузионного слоя меняется по длине, и особенно в тех случаях, когда диффузионные слои перекрываются, а понятие диффузионного слоя как погранслоя фактически теряет смысл [26, 30].

Другим интересным случаем, когда необходим учет гравитационной конвекции, является массоперенос в мембранной системе без вынужденной конвекции при протекании так называемого сверхпредельного тока. В этих условиях часто в системе появляется гидродинамическая неустойчивость, описанная в работах [1, 18, 23], в которых показано, что гравитационная конвекция разрушает диффузионный слой вблизи электрода/мембраны, способствуя резкому увеличению скорости подвода реагирующих веществ к их поверхности.

Проблема учета гравитационной конвекции важна также в теории хронопотенциометрических измерений, где гравитационная конвекция во многом определяет скорость массопереноса и существенно влияет на величину переходного времени. В.Г. Левич в монографии дал решение задачи переноса ионов с учетом естественной конвекции, обусловленной неоднородным концентрационным полем, формирующимся в полубесконечном пространстве возле электрода при протекании постоянного тока. Он показал, что при достаточно большом удалении электродов друг от друга толщина стационарного диффузионного слоя обратно пропорциональна разности концентраций электролита в объеме и на поверхности электрода в степени $1/4$. Современное состояние теории массопереноса в электродных системах с гравитационной конвекцией описано и проанализировано в обзоре [15]. В мембранных системах описание гравитационной конвекции с учетом изменения концентраций и джоулева разогрева проведено в работах В.А. Шапошника, Е.Н. Коржова и О.В. Григорчук (см., например, [30]). Однако в этих работах изучен только стационарный перенос и не рассматривается вынужденная конвекция и перенос тепла через мембрану, имеющие важное значение в ряде случаев.

Несовершенство модельных представлений делает невозможным адекватное описание процессов, протекающих в реальных электрохимических системах. Развитие этих модельных представлений, более корректное математическое описание сопряженной конвекции, и, в частности, гравитационной конвекции, позволило бы выявить условия, где этот эффект в наибольшей степени способствует интенсификации массопереноса, и открыло бы новые возможности совершенствования оборудования, предназначенного для очистки промышленных стоков и природных вод от антропогенных и естественных загрязнений.

Из проведенного анализа экспериментальных и теоретических работ можно сделать следующие выводы:

1. Для успешного применения электромембранных систем требуется глубокое понимание процессов массопереноса в этих системах. Отсюда возникает необходимость в построении адекватных математических моделей различных видов конвективных течений и исследовании основных закономерностей переноса в этих условиях.
2. Имеется большое количество работ, посвященных построению и исследованию математических моделей электрохимических систем с учетом гравитационной конвекции и электроконвекции. Однако в этих работах

ограничиваются рассмотрением сравнительно простых математических моделей при различных упрощающих предположениях. В частности, в них изучен в основном стационарный перенос, не рассматривается вынужденная конвекция и перенос тепла через мембрану, имеющие важное значение в ряде случаев.

3. На сегодняшний день не существует математических моделей, достаточно адекватно описывающих нестационарные неизотермические процессы переноса в электромембранных системах с учетом совместного действия различных видов конвекции, что и определяет актуальность данной работы.

Литература

1. Певницкая М.В. Интенсификация массопереноса при электродиализе разбавленных растворов // Электрохимия. – 1992. – Т.28, №11. – С.1708-1715.
2. Zabolotsky V.I. On the role of gravitational convection in the transfer enhancement of salt ions in the course of dilute solution electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya // J. Membr. Sci. – 1996. – V.119. – P.171-181.
3. Zabolotsky V.I. Coupled transport phenomena in overlimiting current electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya, M.Kh. Urtenov, E.V. Laktionov, H. Strathmann, M. Wessling, G.H. Koops // Sep. Pur. Tech. – 1998. – V.14. – P.255-267.
4. Тимашев С.Ф. Физико-химия мембранных процессов. – М.: Химия, 1988. – 240 с.
5. Волгин В.М. Естественнo-конвективная неустойчивость электрохимических систем / В.М. Волгин, А.Д. Давыдов // Электрохимия. – 2006. – Т.42, №6. – С.635-678.
6. Духин С.С. Электроосмос второго рода и неограниченный рост тока в смешанном монослое ионита / С.С. Духин, Н.А. Мишук, П.В. Тахистов // Коллоидн. журн. – 1989. – Т.51, № 3. – С.616-618.
7. Рубинштейн И. Экспериментальная проверка электроосмотического механизма формирования «запредельного» тока в системе с катионо-обменной электродиализной мембраной / И. Рубинштейн, Б. Зальцман, И. Прец, К. Линдер // Электрохимия. – 2002. – Т.38, № 8. – С.956-967.
8. Ambrosone L. Double-diffusive instability in free diffusing layers: a general formulation // Physica B: Condensed Matter. – 2000. – V.292, N.1-2. – P.136-152.
9. Anufriev A.P. The Boussinesq and anelastic liquid approximations for convection in the Earth's core / A.P. Anufriev, C.A. Jones, A.M. Soward // Physics of The Earth and Planetary Interiors. – 2005. – V.152, N.3. – P.1-7.
10. Gertman I. The Dead Sea hydrography from 1992 to 2000 / I. Gertman, A. Hecht // J. Marine Systems. – 2002. – V.35, N.3-4. – P.169-181.
11. Simmons C.T. Mixed convection processes below a saline disposal basin / C.T. Simmons, K.A. Narayan // J. Hydrology. – 1997. – V.194, N.1-4. – P.263-285.
12. Nazaroff W.W. Mass-transport aspects of pollutant removal at indoor surfaces / W.W. Nazaroff, G. R. Cass // Environment International. – 1989. – V.15, N.1-6. – P.567-584.
13. Wang H.Y. Three-dimensional modeling for prediction of wall fires with buoyancy-induced flow along a vertical rectangular channel / Wang H.Y., Joulain P. // Combustion and Flame. – 1996. – V.105, N.3. – P.391-406.
14. Григин А.П. Естественная конвекция в электрохимических системах / А.П. Григин А.Д. Давыдов // Электрохимия. – 1998. – Т.34, № 11. – С.1237-1263.
15. Григин А.П. Естественная конвекция в электрохимических системах / А.П. Григин А.Д. Давыдов // Электрохимия. – 1998. – Т.34, № 11. – С.1237-1263.
16. Volgin V.M. Simulation of ion transfer under conditions of natural convection by the finite difference method / V.M. Volgin, O.V. Volgina, D.A. Bogachev, A.D. Davydov // J. Electroanal. Chem. – 2003. V.546. – P.15-22.
17. Zabolotsky V.I. On the role of gravitational convection in the transfer enhancement of salt ions in the course of dilute solution electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya // J. Membr. Sci. – 1996. – V.119. – P.171-181.
18. Zabolotsky V.I. Coupled transport phenomena in overlimiting current electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya, M.Kh. Urtenov, E.V. Laktionov, H. Strathmann, M. Wessling, G.H. Koops // Sep. Pur. Tech. – 1998. – V.14. – P.255-267.
19. Шапошник В.А. Термоконвективная неустойчивость в электродиализе / В.А. Шапошник, В.И. Васильева, Р.Б. Угрюмов, М.С. Кожевников // Электрохимия. – 2006. – Т.42, №5. – С.531-537.
20. Shaposhnik V.A. Concentration fields of solutions under electrodialysis with ion-exchange membranes / V.A. Shaposhnik, V.I. Vasil'eva, D.B. Praslov // J. Membr. Sci. – 1995. – V.101. – P.23-30.
21. Весслер Г.П. Оптическое и электрохимическое изучение диссипативных структур в растворах электролитов / Г.П. Весслер, В.С. Крылов, П. Шварц, Х. Линде // Электрохимия. – 1986. – Т.22, № 5. – С.623-628.
22. Lifson S. Flicker-noise of ion selective membranes and turbulent convection in the depleted layer / S. Lifson, B. Gavish, S. Reich // Biophys. Struct. Mech. – 1978. V.4, N 1. – P.53-65.
23. Вейвлет-анализ в приложении к исследованию природы запредельного тока в электрохимической системе с катионообменной мембраной / Е.Ю. Будников, А.В. Максимычев, А.В. Колобин, В.Г. Меркин, С.Ф. Тимашев // Журнал физ. химии. – 1999. – Т.73. – С.198-213.
24. Голицын В.Ю. Электромассоперенос через ионселективные мембраны в условиях естественной конвекции в постоянном магнитном поле / В.Ю. Голицын, О.В. Бобрешова, С.Ф. Тимашев // Теор. основы хим. технол. – 1989. – Т.23, №3. – С.399-403.
25. Rubinstein I. Voltage against current curves of cation exchange membranes / I. Rubinstein, L. Shtilman // J. Chem. Soc. Faraday Trans. II. – 1979. – V.75. – P.231-246.
26. Заболоцкий В.И. Перенос ионов в мембранах / В.И. Заболоцкий, В.В. Никоненко. – М.: Наука, 1996. – 390 с.
27. Бабешко В.А. Взаимодействие гидродинамических и электрохимических полей в мембранных процессах / В.А. Бабешко, В.И. Заболоцкий, М.Х. Уртенов, Р.Р. Сеидов // Проблемы физико-математического моделирования. – 1998. – №1. – С.3.
28. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – М.: Химия, 2001. – 624 с.

29. Давыдов А.Д. Методы интенсификации некоторых электрохимических процессов / А.Д. Давыдов, Г.П. Энгельгард // *Электрохимия*. – 1988. – Т.24, № 1. – С.3-17.

30. Коржов Е.И. Гидродинамические модели электромембранных систем: Дис. канд. физ.-мат. наук: 01.02.05 / – Воронеж, 1991 – 152 с.

References

1. Pevnickaja M.V. Intensifikacija massoperenosa pri jelektrodialize razbavennyh rastvorov // *Jelektrohimija*. – 1992. – Т.28, №11. – С.1708-1715.
2. Zabolotsky V.I. On the role of gravitational convection in the transfer enhancement of salt ions in the course of dilute solution electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya // *J. Membr. Sci.* – 1996. – V.119. – P.171-181.
3. Zabolotsky V.I. Coupled transport phenomena in overlimiting current electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya, M.Kh. Urtenov, E.V. Laktionov, H. Strathmann, M. Wessling, G.H. Koops // *Sep. Pur. Tech.* – 1998. – V.14. – P.255-267.
4. Timashev S.F. Fiziko-himija membrannyh processov. – М.: Himija, 1988. – 240 s.
5. Volgin V.M. Estestvenno-konvektivnaja neustojchivost' jelektrohimicheskikh sistem / V.M. Volgin, A.D. Davydov // *Jelektrohimija*. – 2006. – Т.42, №6. – С.635-678.
6. Duhin S.S. Jelektroosmos vtorogo roda i neogranichennyj rost toka v smeshannom monosloe ionita / S.S. Duhin, N.A. Mishuk, P.V. Tahistov // *Kolloidn. zhurn.* – 1989. – Т.51, № 3. – С.616-618.
7. Rubinshtejn I. Jeksperimental'naja proverka jelektroosmoticheskogo mehanizma formirovaniya «zapredelnogo» toka v sisteme s kationo-obmennoj jelektrodializnoj membranoj / I. Rubinshtejn, B. Zal'cman, I. Prec, K. Linder // *Jelektrohimija*. – 2002. – Т.38, № 8. – С.956-967.
8. Ambrosone L. Double-diffusive instability in free diffusing layers: a general formulation // *Physica B: Condensed Matter*. – 2000. – V.292, N.1-2. – P.136-152.
9. Anufriev A.P. The Boussinesq and anelastic liquid approximations for convection in the Earth's core / A.P. Anufriev, C.A. Jones, A.M. Soward // *Physics of The Earth and Planetary Interiors*. – 2005. – V.152, N.3. – P.1-7.
10. Gertman I. The Dead Sea hydrography from 1992 to 2000 / I. Gertman, A. Hecht // *J. Marine Systems*. – 2002. – V.35, N.3-4. – P.169-181.
11. Simmons C.T. Mixed convection processes below a saline disposal basin / C.T. Simmons, K.A. Narayan // *J. Hydrology*. – 1997. – V.194, N.1-4. – P.263-285.
12. Nazaroff W.W. Mass-transport aspects of pollutant removal at indoor surfaces / W.W. Nazaroff, G. R. Cass // *Environment International*. – 1989. – V.15, N.1-6. – P.567-584.
13. Wang H.Y. Three-dimensional modeling for prediction of wall fires with buoyancy-induced flow along a vertical rectangular channel / Wang H.Y., Joulain P. // *Combustion and Flame*. – 1996. – V.105, N.3. – P.391-406.
14. Grigin A.P. Estestvennaja konvekcija v jelektrohimicheskikh sistemah / A.P. Grigin A.D. Davydov // *Jelektrohimija*. – 1998. – Т.34, № 11. – С.1237-1263.
15. Grigin A.P. Estestvennaja konvekcija v jelektrohimicheskikh sistemah / A.P. Grigin A.D. Davydov // *Jelektrohimija*. – 1998. – Т.34, № 11. – С.1237-1263.
16. Volgin V.M. Simulation of ion transfer under conditions of natural convection by the finite difference method / V.M. Volgin, O.V. Volgina, D.A. Bograchev, A.D. Davydov // *J. Electroanal. Chem.* – 2003. V.546. – P.15-22.
17. Zabolotsky V.I. On the role of gravitational convection in the transfer enhancement of salt ions in the course of dilute solution electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya // *J. Membr. Sci.* – 1996. – V.119. – P.171-181.
18. Zabolotsky V.I. Coupled transport phenomena in overlimiting current electrodialysis / V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, N.D. Pismenskaya, M.Kh. Urtenov, E.V. Laktionov, H. Strathmann, M. Wessling, G.H. Koops // *Sep. Pur. Tech.* – 1998. – V.14. – P.255-267.
19. Shaposhnik V.A. Termokonvektivnaja neustojchivost' v jelektrodialize / V.A. Shaposhnik, V.I. Vasil'eva, R.B. Ugryumov, M.S. Kozhevnikov // *Jelektrohimija*. – 2006. – Т.42, №5. – С.531-537.
20. Shaposhnik V.A. Concentration fields of solutions under electrodialysis with ion-exchange membranes / V.A. Shaposhnik, V.I. Vasil'eva, D.B. Praslov // *J. Membr. Sci.* – 1995. – V.101. – P.23-30.
21. Vessler G.P. Opticheskoe i jelektrohimicheskoe izuchenie dissipativnyh struktur v rastvorah jelektrolitov / G.P. Vessler, V.S. Krylov, P. Shvarc, H. Linde // *Jelektrohimija*. – 1986. – Т.22, № 5. – С.623-628.
22. Lifson S. Flicker-noise of ion selective membranes and turbulent convection in the depleted layer / S. Lifson, B. Gavish, S. Reich // *Biophys. Struct. Mech.* – 1978. V.4, N 1. – P.53-65.
23. Vejvlet-analiz v prilozhenii k issledovaniju prirody zapredelnogo toka v jelektrohimicheskoy sisteme s kationoobmennoj membranoj / E.Ju. Budnikov, A.V. Maksimych, A.V. Koljubin, V.G. Merkin, S.F. Timashev // *Zhurnal fiz. himii*. – 1999. – Т.73. – С.198-213.
24. Golicyn V.Ju. Jelektromassoperenos cherez ionselektivnye membrany v usloviyah estestvennoj konvekcii v postojannom magnitnom pole / V.Ju. Golicyn, O.V. Bobreshova, S.F. Timashev // *Teor. osnovy him. tehnol.* – 1989. - Т.23, №3. – С.399-403.
25. Rubinstein I. Voltage against current curves of cation exchange membranes / I. Rubinstein, L. Shtilman // *J. Chem. Soc. Faraday Trans. II*. – 1979. – V.75. – P.231-246.
26. Zabolockij V.I. Perenos ionov v membranah / V.I. Zabolockij, V.V. Nikonenko. – М.: Nauka, 1996. – 390 s.
27. Babeshko V.A. Vzaimodejstvie gidrodinamicheskikh i jelektrohimicheskikh polej v membrannyh processah / V.A. Babeshko, V.I. Zabolockij, M.H. Urtenov, R.R. Seidov // *Problemy fiziko-matematicheskogo modelirovaniya*. – 1998. – №1. – С.3.
28. Damaskin B.B. *Jelektrohimija* / B.B. Damaskin, O.A. Petrij, G.A. Cir-lina. – М.: Himija, 2001. – 624 s.
29. Davydov A.D. Metody intensifikacii nekotoryh jelektrohimicheskikh processov / A.D. Davydov, G.R. Jengel'gard // *Jelektrohimija*. – 1988. – Т.24, № 1. – С.3-17.
30. Korzhov E.I. Gidrodinamicheskie modeli jelektromembrannyh sistem: Dis. kand. fiz.-mat. nauk: 01.02.05 / – Voronezh, 1991 – 152 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.286

Артеменко М.В.¹, Калугина Н.М.²,¹ORCID: 0000-0003-1037-8288, кандидат биологических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии;²аспирант специальности «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии»

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ).

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БИООБЪЕКТА ПО ХРОНОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ РЕГИСТРИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ**Аннотация**

В статье рассматриваются структура и математический аппарат информационно-аналитической системы диагностики и управления состоянием биообъекта ветеринарии и фитопатологии с применением терапевтической обратной связи, основанных на анализе хронометрических параметров регистрируемых сигналов, вычисляемых в процессе анализа различных прямых и латентных информативных частотных показателей и аппроксимирующего «опытно-прогностического функционала» - «functional past-future» – $FPF(t)$, аргументами которого являются частные функции, характеризующие значение биосигнала в различные временные сдвиги отрицательного и положительного типа относительно текущего момента анализа.

Ключевые слова: диагностика, системный анализ, хронометрия, системы поддержки принятия решений, ветеринария.

Artemenko M.V.¹, Kalugina N.M.²¹ORCID: 0000-0003-1037-8288, PhD in Biology, associate Professor of department biomedical engineering;²postgraduate student of the specialty "Photonics, instrumentation, optical and biotechnical systems and technologies"

FSEI HE "Southwest State University" (SWSU).

DIAGNOSTIC ANALYSIS OF THE CONDITION OF A BIOLOGICAL OBJECT BY CHRONOMETRIC THE PARAMETERS OF RECORDED SIGNALS**Abstract.**

The article discusses the structure and mathematical apparatus of information-analytical system of diagnostics and state management of the bio-object veterinary medicine and fitopatologia with the use of therapeutic feedback based on the analysis of chronometric data signals, computed during the analysis of various direct and informative latency frequency and approximate indicators "functional past-future" – $FPF(t)$, arguments which are private functions characterizing the value of the biosignal in different time shifts of negative and positive type with respect to the current moment of analysis.

Keywords: diagnostics, systems analysis, timing, systems of decision support, veterinary.

В клинической медицине находят все большее применение специализированные медико-информационные технологии [8] и системы поддержки принятия диагностических решений (СППДР) на основе методов искусственного интеллекта, формирующие необходимые рекомендации об оптимизации дальнейшей терапевтической траектории (особенно, в области превентивной медицины и скрининга) [1, 2, 4, 5, 12, 3].

В то же время, разрешение аналогичных проблем информационной и компьютерной поддержки требуемых «уровней здоровья» («статусов здоровья») у животных и растений (прежде всего используемых в сельском хозяйстве для поддержки собственного адекватного окружающей среде психосоматического статуса), в настоящее время, согласно данным доступных информационных источников, посвященных проблемам ветеринарии и фитопатологии) практически не рассматриваются. Это связано, на наш взгляд, не только с необходимостью разработки узкоспециализированных технологий и оборудования и сложностями регистрации характеризующих статус «здоровья» биообъектов в данном случае, но и с низкой рентабельностью подобных систем в настоящее время.

Применение информационных и компьютерных технологий для исследования состояний пчелиных семей на основе анализа биосигналов хорошо представлено в исследованиях Рыбочкина А.Ф. [7, 14, 15].

Между тем, распространение опыта и привнесение существующих методов доклинической и клинической диагностики человека, скрининга его состояния, применяемых в настоящее время в медицине [5, 12] способно интенсифицировать применение современных информационных и компьютерных технологий классификации и диагностики заболеваний биообъектов в ветеринарии и фитопатологии.

Актуальность и важность в этом направлении приобретают, на наш взгляд, достижения в области дистанционных измерений (регистрации) и анализа биомедицинских сигналов, изменяющихся во времени [13] (например, ЭКГ, ФПГ, РЭГ, ЭЭГ, дыхательные шумы и т.п.). Особенно это распространяется на анализ РЭГ и ФПГ, поскольку характеризующий сигнал может быть зарегистрирован как с помощью существующих специальных датчиков так и дистанционно и несет информацию о: работе сердечнососудистой системы, органов дыхания, составе крови, метаболизме и ионном обмене с окружающей средой, реакции на состав вдыхаемого воздуха, температуры и давления, состояния сосудов (например, эластичность) и газового обмена – т.е., внутренних и внешних параметров поддерживающих необходимый статус для реализации определенной функциональной цели (в том числе – гомеостаза).

В качестве информативных хронометрических характеристик у растений (и бактерий) можно предложить параметры сигнала, который следует называть «хлорофиллограмма» - изменение спектра цвета в течение определенного времени. Указанный сигнал может быть зарегистрирован дистанционно с помощью современной лазерной техники и фотоприемников.

Следует отметить, что в современной ветеринарии и фитопатологии применяются системы тестового характера, основанные на богатом опыте эмпирических наблюдений [6, 10, 19, 20].

В качестве одного из аналогов технологии диагностики состояния животных предлагается использовать информационно-аналитическую систему управления (коррекции) состояния человека в процессе наблюдения и-или

лечения с использованием терапевтической обратной связи, рассмотренную авторами в работе [21] и представленную на рисунке 1.

Диагностико-терапевтический процесс представляется в данном случае в виде цепочки повторяющихся кортежей $TE_{t,\tau} = \{S_t, D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau), Risk(S_t \Rightarrow S_{t+\tau}^*)\}$ (где S_t - состояние биообъекта в момент времени t ; $D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau)$ - терапевтическое (управляющее) воздействие, переводящая состояние S_t в требуемое $S_{t+\tau}^*$ за время τ , $Risk(S_t \Rightarrow S_{t+\tau}^*)$ - значение риска перехода объекта из состояния S_t в состояние $S_{t+\tau}^*$). После применения $D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau)$, состояние объекта опознается как $S_{t+\tau}^{**}$. При правильном управлении и отсутствии бифуркаций, состояния $S_{t+\tau}^*$ и $S_{t+\tau}^{**}$ лежат в области допустимого различия, определяемого ветеринаром в зависимости от характера заболевания, его протекания и-или другими характеристиками объекта. Заметим, что воздействие $D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau)$ может быть «процессом ожидания» («управляющее бездействие»), с целью отслеживания естественного перехода биообъекта из одного состояния в другое согласно автономному управлению.

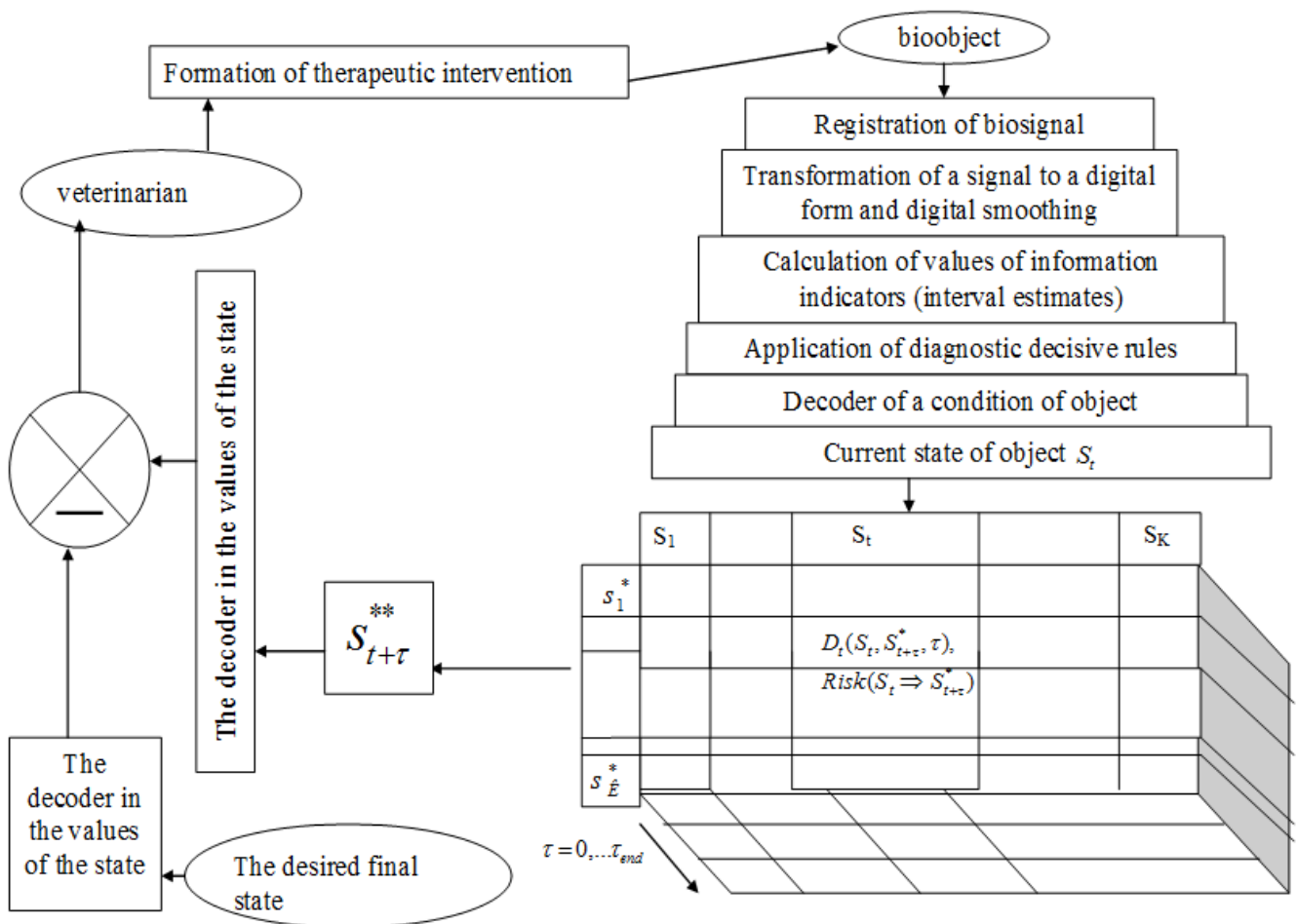


Рис. 1 – Информационно-аналитическая система диагностики и управления состоянием биообъекта с терапевтической обратной связью

Терапевтическая обратная связь с применением СППДР согласно предлагаемой системы состоит в следующем. Цель управления: путем последовательного применения кортежей $TE_{t,\tau}$ необходимо привести начальное распознанное СППДР состояние объекта в желаемое конечное состояние. Распознаваемые состояния определяются следующим образом: регистрируется биосигнал, который переводится в цифровую форму (с необходимыми фильтрацией и сглаживанием). Далее вычисляются значения информативных хронометрических параметров сигнала (и, поскольку процессы регистрации и вычислений обладают определенными погрешностями, определяются интервальные оценки полученных значений). На этапе обучения СППДР идентифицируются решающие правила, позволяющие с приемлемой для диагностического процесса уверенностью, определять различные состояния биообъекта (осуществляется в модулях «Decoder of a condition of object» и «Current state of object S_t »). Затем формируется кортеж $TE_{t,\tau} = \{S_t, D_t(S_t, S_{t+\tau}^*, \tau), Risk(S_t \Rightarrow S_{t+\tau}^*)\}$ и, после сравнения действительного (возникшего через время τ) состояния $S_{t+\tau}^*$ и желаемого конечного состояния, ветеринаром формируется определенное терапевтическое воздействие (в модуле «Formation of therapeutic intervention»), применяемое к биообъекту

(организму животного). Сравнение осуществляется путем выявления и анализа различий в интервальных оценках хронометрических параметров, характеризующих определенные состояния (кластеры) объекта, в модулях «The decoder in the values of the state» (база знаний модулей формируется СППДР предварительно на этапе обучения системы). Тем самым реализуется механизм отрицательной обратной терапевтической связи, реализующий устойчивое приближение к финальному состоянию и-или не поддающийся автоуправлению процесс отдаления от финального состояния и-или стагнацию определенного состояния (между начальным и финальным).

В качестве хронометрических параметров, характеризующих состояние биообъекта предлагается использовать характеристики (параметры) различных биосигналов, идентифицированных аналогично предложенными в [13] математическими методами и алгоритмами, хорошо зарекомендовавшим себя в клинике.

В частности, при анализе биосигналов, интегрально характеризующих состояние организма биообъекта предлагается определять хронометрические информативные параметры:

- прямые: частоты, мощности, действительные и мнимые части разложений биосигнала, представленного в цифровой форме, в ряды, идентифицированные с помощью Фурье преобразования и гармонических алгоритмов МГУА [11, 17];

- латентные: первые минимумы и максимумы на низких частотах (начальные гармоники), глобальные максимумы на всем спектре, близлежащие к локальным максимумам минимумы (на сопряженных частотах), функциональные зависимости между действительными и мнимыми частями спектров в диапазонах частот, определенных для сигнала Фурье преобразованием, по формуле (1).

$$[f_{min}, f_{max}] \text{ и } [f_{max}, 2 \cdot f_{max} - f_{min}], \quad (1)$$

где f_{min}, f_{max} - соответственно, частоты первого минимума на низких частотах и максимума спектра Фурье в целом;

- функциональные – характеризующие поведение биосистемы, способной принимать решение (реагировать на состояния внутренней и внешней сред) в текущий момент времени в соответствии с учетом прошлого опыта и прогнозирования будущего.

Рассмотрим формирование данного типа параметров более подробно.

Основной особенностью живой, открытой системы, каковым является биообъект, выступает его целесообразное поведение [18]. У биообъекта в сельском хозяйстве наблюдается две цели, модулирующие друг с другом: цель системы управления и цель объекта управления. (В этой связи, наряду с понятием «биотехническая» система возникает естественно-обусловленная необходимость использования понятий «флорочеловеческая» и «фауночеловеческая» системы.)

Целесообразное поведение предполагает принятие решения биообъектом в конкретный момент времени t , отражаемое в значении информативного регистрируемого сигнала $y(t)$. Поскольку живая система при этом систематически учитывает опыт своего существования в окружающей среде и автопрогноз развития ситуации, то в общем смысле регистрируемый сигнал $y(t)$ может быть представлен (аппроксимирован) в виде формулы (2).

$$\hat{y}(t) = F(\varphi_{t-1}(t-1), \varphi_{t-2}(t-2), \dots, \varphi_{t-T_1}(t-T_1), \varphi_{t+1}(t+1), \varphi_{t+2}(t+2), \dots, \varphi_{t+T_2}(t+T_2)), \quad (2)$$

где: $\varphi_{t \mp i}(t \mp i)$ – частные хронометрические функционалы, характеризующий состояние объекта в момент времени $(t \mp i)$; T_1 и T_2 – максимальные времена упреждения (запаздывания) и прогноза (экстраполяции), соответственно; T_1 и T_2 соответствующие целые числа, формирующие индексы частных хронометрических функционалов, $F()$ интегральный функционал (назовем его «опытно-прогностический функционал» - «functional past-future» – FPF(t)).

В первом приближении рекомендуется применять формулу (3).

$$\hat{y}(t) = F(\varphi_{t-i_1}(t-i_{i1}), \varphi_{t+i_2}(t+i_{i2})), \quad (3)$$

где t_{i1} и t_{i2} - наилучшие временные сдвиги «прошлого» и «будущего» в смысле минимизации выбранного критерия рассогласования векторов-трендов $y(t)$ и $\hat{y}(t)$, которые могут быть определены в процессе анализа автокорреляционной функции. При отсутствии таковой или отсутствия достоверной информации о периодичности рассматриваемого биосигнала $y(t)$ без потери общности рассуждений и по аналогии с марковскими процессами можно принять $t_{i1} = t_{i2} = d$ (d – дискретизация t , абстрактно $d = 1$). В простейшем случае частные хронометрические функционалы представлены линейным преобразованием: $\varphi_{t \mp i}(t \mp i) = a_{t \mp i} + b_{t \mp i} \cdot y(t \mp i)$.

Структурно-параметрическая идентификация функционала FPF(t) позволяет строить систему диагностики состояния биообъекта, по схеме, представленной на рисунке 2.

Согласно приведенной схеме прогноза-распознавания множество значений хронометрических параметров $\{Y\}$, регистрируемых в момент времени t , поступают на карты моделей соответствия данного множества и прогнозируемого $\{Y\}_{t+1}$ прогнозируемому состоянию биообъекта $St+1$ (адаптационные самоорганизующие карты – ASSOM и FASSOM – в терминологии Кохонена Т. [9]). Множество значений информативных хронометрических параметров в момент времени $t+1$, формируется «Модулем «фантазий»», где находится множество правил по суперпозиции которых (с определенными весовыми коэффициентами) и применением метода Монте-Карло идентифицируется множество $\{Y\}_{t+1}^f$ по $\{Y\}_t$ и рассогласованию между прогнозируемым состоянием $St+1$ и реально существующим $\{S\}_{t+1}^r$. Итерационный этап обучения заканчивается когда указанное рассогласование достигнет приемлемой для процесса прогноза-распознавания величины.

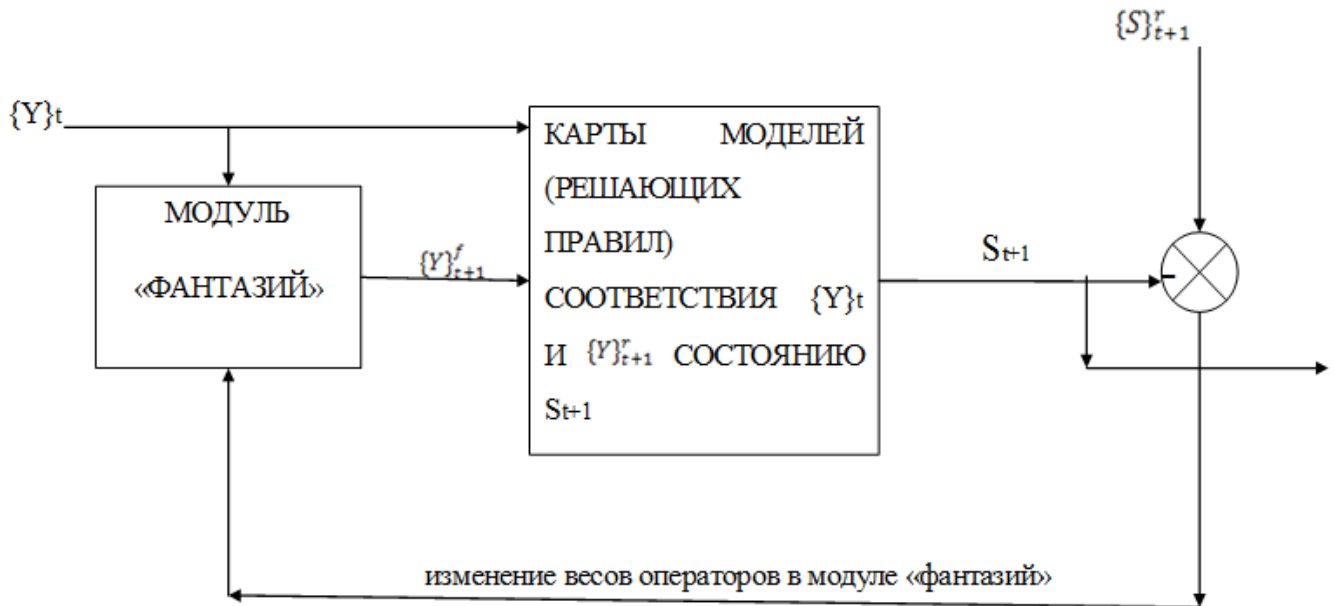
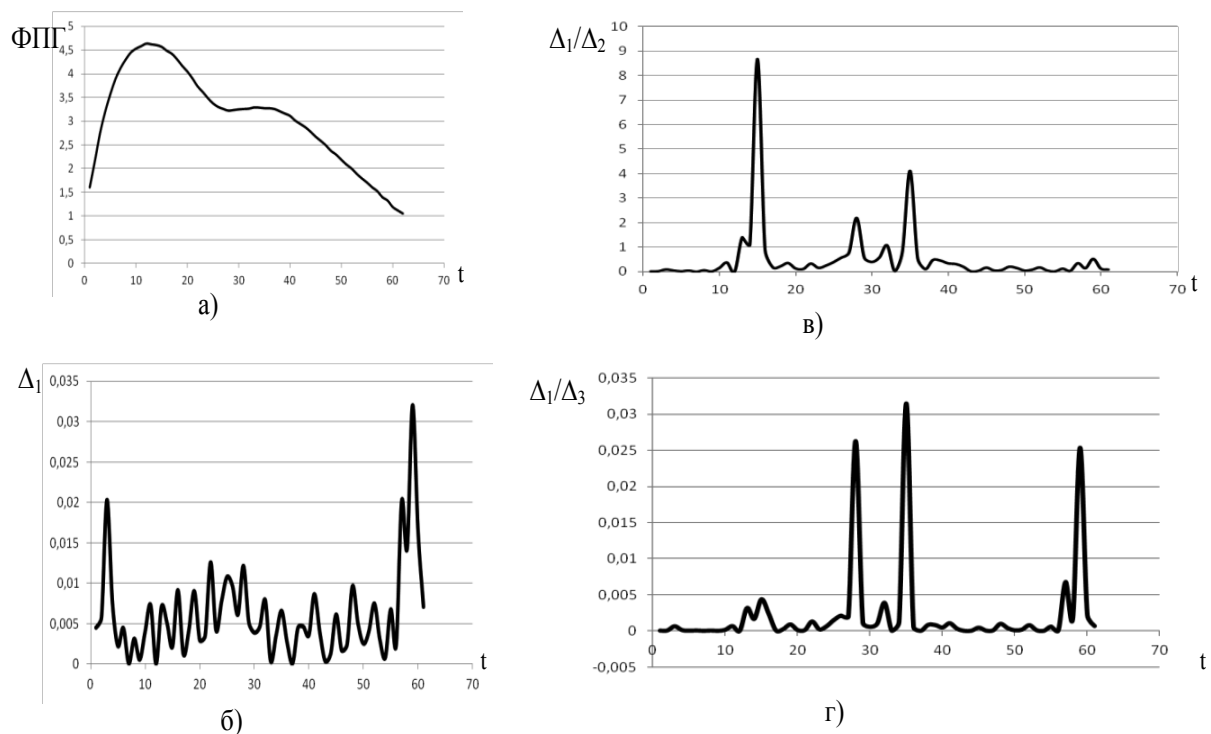


Рис. 2 – Схема прогноза-распознавания (диагностики) состояния биообъекта

Пример применения предлагаемого подхода получения дополнительной информации для диагностики состояния биообъекта по параметрам и структуре функционала FPF(t) в виде $F(y(t-1), y(t+1))$ приведен на рисунке 3. Заметим, что поскольку плетизмограмма отражает объемные (интегральные) характеристики кровенаполнения, то следует предположить, что она подобна спектру Фурье первоначального процесса «изгона крови» сердцем в виде последовательных треугольных или экспоненциальных функций ($S(t) = U \cdot \exp(-\alpha \cdot t)$).



а) значения сигнала фотоплетизмограммы – ФПГ ; б) модуль относительного отклонения аппроксиманта (формула (4) от значений ФПГ - Δ_1 ; в) отношение ошибок аппроксимантов, полученных по формуле (4) и (5) - Δ_1/Δ_2 ; г) отношение ошибок аппроксимантов, полученных по формуле (4) и (6) - Δ_1/Δ_3 .

Рис.3 – Анализ ошибки аппроксимантов FPF(t) для фотоплетизмограммы.

Сравнивались значения аппроксимантов ФПГ – $y(t)$:

$$\hat{y}(t) = -0.036 + 0.506 \cdot y(t-1) + 0.506 \cdot y(t+1), \quad (4)$$

$$\hat{y}(t) = 0.05 + 0.983 \cdot y(t-1), \quad (5)$$

$$\hat{y}(t) = 0.035 + 0.998 \cdot y(t+1). \quad (6)$$

Анализ относительных ошибок (представлены на рисунке 3) показывает, что наилучшим результат наблюдается в случае применения формулы (4) – т.е., биообъект при принятии решения учитывает «прошлый опыт» и «автопрогнозируемое будущее».

Выполним преобразование формулы (4) в формулу (7) для перехода к классическому варианту прогностических функций:

$$y(t+1) \approx 2 \cdot y(t) - y(t-1). \quad (7)$$

Формула (4) показывает, что для прогнозирования значения хронометрического параметра требуется учитывать «фантазию» о его прогностическом значении и текущим (с половинной дискретой времени) и усреднять данные значения. Формула (7) подчеркивает использование биообъектом сигнала подтверждения для прогнозирования. Поскольку формулы (4) и (7) по сути являются идентичными с алгебраической точки зрения, то указанные процессы, очевидно, представляют собой одно и то же, т.е. – «подтверждение» и «прогноз» в данном случае – «близнецы-братья».

Таким образом, предлагаемая информационная поддержка и формализованный математический аппарат диагностико-терапевтического процесса, основанные на применении интеллектуальных возможностей СППДР постоянной оценки текущего состояния биообъекта и принципа терапевтической обратной связи, позволяют объективизировать и автоматизировать терапевтический процесс, в том числе и применяя имитационное моделирование для прогноза возможных последствий принятия решений. Поскольку на этапе обучения СППДР когнитолог осуществляет наукоемкую и практически значимую систематизацию состояний, терапевтических воздействий и их взаимосвязь (в виде решающих правил), то предлагаемая информационно-аналитическая модель и предложенный математический аппарат применим в процессе повышения квалификационного уровня персонала и поиска оптимальных терапевтических технологий.

Литература

1. Артеменко М.В. Формирование и применение опросника для автоматизированной системы поддержки принятия диагностических решений превентивной медицины скрининга рака желудка // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11-2. – стр. 184-190; URL: <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=7703> (дата обращения: 15.02.2016).
2. Артеменко М.В., Добровольский И.И., Мишустин В.Н. Информационно-аналитическая поддержка автоматизированной классификации на основе прямых и обратных решающих правил на примере прогноза тромбозов. // Современные наукоемкие технологии. – 2015. №12 (часть 2). – стр.199-205.
3. Артеменко М.В., Дронова Т.А., Корневский Н.А. Применение показателей системной организации в диагностическом процессе // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. -2003, -Т.2, -№1. – стр. 16-19
4. Артеменко М.В., Серебровский В.В., Бабков А.С. Информационно-аналитическая модель принятия решений в процессе диагностики рака желудка // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-1. – стр. 18-23.
5. Воронцов И.М., Шаповалов В.В., Шерстюк Ю.М. Здоровье. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. – СПб. ООО «ИПК «Коста», 2006. – 432 с.
6. Дюльгер Г.П. Основы ветеринарии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.П. Дюльгер, Г.П. Табаков.— Эл.дан.—СПб.:Лань,2013.—476с. //URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=12972.
7. Еськов Е.К., Рыбочкин А.Ф., Захаров И.С., Тобоев В.А. Микроклимат пчелиного жилища, его контроль и регулирование: монография / Курск. Гос. ун-т.; Курск. Гуманит.-техн. ин-т., Курск, 2009. 446 с.
8. Илларионов В.Е. Научно-практические основы информационной медицины. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 184 с.
9. Кохонен Т. Самоорганизующие карты. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. – 655 с.
10. Лухменев В.П. Фитопатология: учебное пособие. // Оренбург. Изд. центр ОГАУ, 2012, -342 с.
11. Орлов А.А. Принципы построения архитектуры программной платформы для реализации алгоритмов метода группового учета аргументов // Управляющие системы и машины. -2013. - №2. -с.65-71
12. Превентивная медицина: Опыт работы информационного полипараметрического комплекса / Под ред. Н.В. Дмитриевой. –М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 248 с.
13. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход : учебное пособие / Р. М. Рангайян. - М. : Физматлит, 2007. - 440 с.
14. Рыбочкин А.Ф., Бартенев А.А. Мониторинг жизненных процессов пчелиной семьи на основе контроля распределения температурных полей в улье //Экологические системы и приборы, 2015, стр. 3-11
15. Рыбочкин А.Ф., Савельев С.В., Плесканос Л.В. Анализ фотоплетизмограммы с использованием кодовых сообщений //Биомедицинская радиоэлектроника, 2010, №2, - стр. 43-48
16. Рыбочкин А.Ф., Яковлев А.И. Диагностирование состояний объекта по издаваемому им акустическому шуму.//Альтернативная энергетика и экология , 2001, №7, стр.89 – 101
17. Справочник по типовым программам моделирования / А.Г. Ивахненко, Ю.В. Коппа, В.С. Степашко и др.; под ред. Ивахненко А.Г. – К.: Техника,1980.- 184 с.
18. Судаков К.В., Кузичев И.А., Николаев А.Б. Эволюция терминологии и схем функциональных систем в научной школе П. К. Анохина. –М.: Европейские полиграфические системы, 2010. – 240 с.
19. Фитопатология и охрана растений //URL: <http://www.berl.ru /article/biology/fitopatology.htm> (дата обращения - 15.02. 2016)
20. Чураков Б.П., Чураков Д.Б. Фитопатология. -М.:Московский гос. унив. леса, 2007. -424 с.

21. Artemenko M.V., Kalugina N.M., Pisarev M.V. Informational support for making diagnostic decisions with the use of therapeutic feedback based on the analysis of biomedical signals - "Fundamental and applied sciences: the main results of 2015" Proceedings of the I Annual International Scientific Conference, St. Petersburg, Russia - North Charleston, SC, USA 16-17 December 2015, 2015, pp. 26-30

References

1. Artemenko M.V. Formirovanie i primeneniye oprosnika dlja avtomatizirovannoj sistemy podderzhki prinjatija diagnosticheskikh reshenij preventivnoj mediciny skrininga raka zheludka // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2015. – № 11-2. – str. 184-190; URL: <http://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=7703> (data obrashhenija: 15.02.2016).
2. Artemenko M.V., Dobrovol'skij I.I., Mishustin V.N. Informacionno-analiticheskaja podderzhka avtomatizirovannoj klassifikacii na osnove prjamyh i obratnyh reshajushhih pravil na primere prognoza tromboembolii. // Sovremennye naukoemkie tehnologii. – 2015. №12 (chast' 2). – str.199-205.
3. Artemenko M.V., Dronova T.A., Korenevskij N.A. Primenenie pokazatelej sistemnoj organizacii v diagnosticheskom processe //Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. -2003, -T.2, -№1. – str. 16-19
4. Artemenko M.V., Serebrovskij V.V., Babkov A.S. Informacionno-analiticheskaja model' prinjatija reshenij v processe diagnostiki raka zheludka // Fundamental'nye issledovanija. – 2014. – № 6-1. – str. 18-23.
5. Voroncov I.M., Shapovalov V.V., Sherstjuk Ju.M. Zdorov'e. Opyt razrabotki i obosnovanie primeneniya avtomatizirovannyh sistem dlja monitoringa i skrinirujushhej diagnostiki narushenij zdorov'ja. –SPb. OOO «IPK «Kosta», 2006. – 432 s.
6. Djul'ger G.P. Osnovy veterinarii [Jelektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / G.P. Djul'ger, G.P. Tabakov.—Jel.dan.—SPb.:Lan',2013.—476s. //URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=12972.
7. Es'kov E.K., Rybochkin A.F., Zaharov I.S., Toboev V.A. Mikroklimat pchelino go zhlissha, ego kontrol' i regulirovanie: monografija / Kursk. Gos. un-t.; Kursk. Gumanit.-tehn. in-t., Kursk, 2009. 446 s.
8. Illarionov V.E. Nauchno-prakticheskie osnovy informacionnoj mediciny. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2010. – 184 s.
9. Kohonen T. Samoorganizujushhie karty. –M.: BINOM. Laboratorija znaniy, 2016. – 655 s.
10. Luhmenev V.P. Fitopatologija: uchebnoe posobie. // Orenburg. Izd. centr OGAU, 2012, -342 s.
11. Orlov A.A. Principy postroenija arhitektury programmnoj platformy dlja realizacii algoritmov metoda gruppovogo ucheta argumentov // Upravljajushhie sistemy i mashiny.-2013. - №2. -s.65-71
12. Preventivnaja medicina: Opyt raboty informacionnogo poliparametricheskogo kompleksa / Pod red. N.V. Dmitrievoj. –M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2010. – 248 s.
13. Rangajjan R. M. Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskij podhod : uchebnoe posobie / R. M. Rangajjan. - M. : Fizmatlit, 2007. - 440 s.
14. Rybochkin A.F., Bartenev A.A. Monitoring zhiznennyh processov pchelinoj sem'i na osnove kontrolja raspredelenija temperaturnyh polej v ul'e //Jekologicheskie sistemy i pribory, 2015, str. 3-11
15. Rybochkin A.F., Savel'ev S.V., Pleskanos L.V. Analiz fotopletizmogrammy s ispol'zovaniem kodovyh soobshhenij //Biomedicinskaja radioelektronika, 2010, №2, - str. 43-48
16. Rybochkin A.F., Jakovlev A.I. Diagnostirovanie sostojanij ob#ekta po izdavaemomu imi akusticheskomu shumu.//Al'ternativnaja jenergetika i jekologija, 2001, №7, str.89 – 101
17. Spravochnik po tipovym programmam modelirovanija / A.G. Ivahnenko, Ju.V. Koppa, V.S. Stepashko i dr.; pod red. Ivahnenko A.G. – K:Tehnika,1980.- 184 s.
18. Sudakov K.V., Kuzichev I.A., Nikolaev A.B. Jevoljucija terminologii i shem funkcional'nyh sistem v nauchnoj shkole P. K. Anohina. –M.: Evropejskie poligraficheskie sistemy, 2010. – 240 s.
19. Fitopatologija i ohrana rastenij //URL: <http://www.berl.ru/article/biology/fitopatology.htm> (data obrashhenija - 15.02.2016)
20. Churakov B.P., Churakov D.B. Fitopatologija. -M.:Moskovskij gos. univ. lesa, 2007. -424 s.
21. Artemenko M.V., Kalugina N.M., Pisarev M.V. Informational support for making diagnostic decisions with the use of therapeutic feedback based on the analysis of biomedical signals - "Fundamental and applied sciences: the main results of 2015" Proceedings of the I Annual International Scientific Conference, St. Petersburg, Russia-North Charleston,SC,USA 16-17 Desember 2015, pp. 26-30

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.195

Баженов В.Г.¹, Богдан Г.А.², Кравченко М.В.³¹ORCID: 0000-0002-8858-4412, Кандидат технических наук, доцент, ²ORCID: 0000-0001-6745-1509, аспирант,³ORCID: 0000-0002-9452-3552, Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ**Аннотация**

В статье рассмотрена цифровая система прецизионного измерения фазовых сдвигов радиосигналов на основе ортогонального метода. Особенностью рассматриваемой измерительной системы является то, что фазометр является одноканальным (используется один АЦП) и совместно с фазометром используется синтезатор частоты (DDS) входного сигнала запускаемый сигналами генератора частоты стробирования АЦП. Это позволило исключить погрешности измерений за счёт не кратности частоты дискретизации АЦП с частотой заполнения, периодом следования и длительностью импульсов входных радиосигналов, а также уменьшить погрешности за счёт изменений начальной фазы радиоимпульсного сигнала.

Ключевые слова: цифровая система, фазометр, ортогональный метод, АЦП, DDS.

Bazhenov V.H.¹, Bohdan H.A.², Kravchenko M.V.³¹ORCID: 0000-0002-8858-4412, Candidate of Technical Sciences, ²ORCID: 0000-0001-6745-1509, Postgraduate student,³ORCID: 0000-0002-9452-3552, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"**DIGITAL MEASURING SYSTEM RADIO PHASE SHIFT PULSE SIGNAL****Abstract**

The article describes the digital system precision measurement of phase shifts of radio signals based on the orthogonal method. The peculiarity of the considered measuring system is that the phase meter is a single-channel (uses one ADC) and the phase meter is used in conjunction with the input signal frequency synthesizer DDS triggered by the signal generator frequency ADC sampling. It is possible to eliminate measurement errors due to multiplicity is not the ADC sampling frequency with a frequency of filling, repetition period and pulse width of the input radio signal and reduce errors due to changes in the initial phase pulse radio signal

Keywords: digital system, phase meter, orthogonal method, ADC, DDS.

При решении ряда задач неразрушающего контроля, радиолокации, радионавигации возникает необходимость создания высокоточных автоматизированных информационно измерительных систем прецизионного измерения фазовых сдвигов радиоимпульсных сигналов [1]. Современное состояние микроэлектроники позволяет, при построении таких систем, реализовывать оптимальные методы измерений фазового сдвига радиосигналов (в частности, ортогональные) в цифровом виде. На Рис. 1а представлена обобщенная структурная схема оптимального фазометра реализующего ортогональный метод измерения фазового сдвига сигналов с аналоговыми умножителями. Недостатком такой структуры является необходимость использования схем аналоговых умножителей имеющих недостаточную точность умножения.

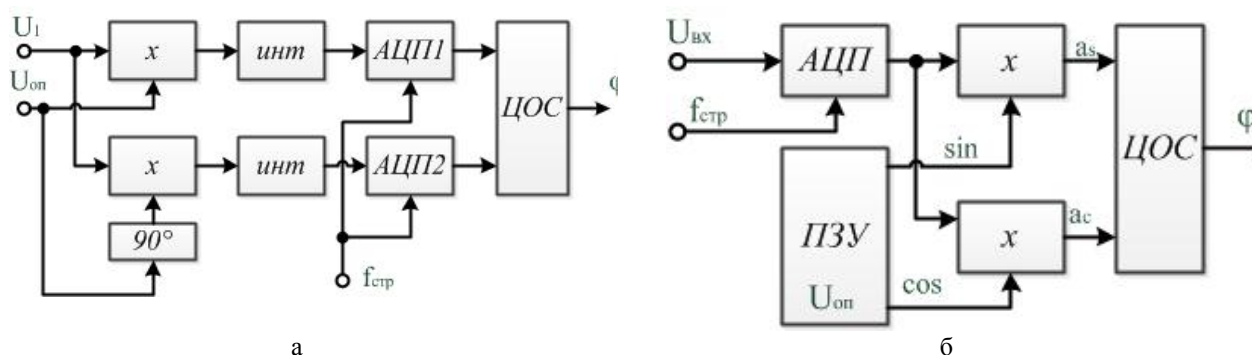


Рис. 1 – Структурные схемы оптимальных фазометров
а) с аналоговыми умножителями; б) с цифровыми умножителями

Более высокую точность измерения фазовых сдвигов сигналов можно получить, используя фазометр с цифровыми умножителями сигналов, структурная схема которого представлена на Рис. 1б [1]. Достоинства данной схемы заключаются в том что используется один аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и вычисление фазового сдвига сигналов производится в цифровом виде при этом используется отдельный цифровой генератор опорных ортогональных цифровых сигналов частота выдачи которых соответствует частоте дискретизации АЦП. Однако следует помнить, что фаза оцифрованного сигнала на выходе АЦП будет зависеть не только от начальной фазы входного сигнала, но и от начальной фазы сигналов стробирования, что существенно усложняет определение фазы сигнала. Кроме того как известно [3,4,5,6] при частоте стробирования не кратной частоте входного сигнала фаза выходного оцифрованного сигнала будет изменяться, от одного массива данных к другому, что приводит к значительным погрешностям измерения, а отсутствие синхронизации цифрового генератора опорных, ортогональных цифровых сигналов на базе блока постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) с частотой дискретизации АЦП приводит к возникновению также погрешности.

Устранить вышеуказанные недостатки авторам удалось путём использования совместно с цифровым ортогональным фазометром синтезатора входных радиоимпульсных сигналов построенного по принципу DDS, запускаемого сигналами частоты дискретизации АЦП. Это позволило фазу, частоту, длительность и период следования радиоимпульсов определять генератором частоты дискретизации АЦП и исключить зависимость фазы цифрового сигнала на выходе АЦП от начальной фазы частоты дискретизации. Кроме того цифровой генератор опорных ортогональных сигналов также предложено запускать сигналами частоты дискретизации. Структурная схема разработанной авторами [2] системы измерения фазовых сдвигов $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \in (-\pi, \pi)$ радиоимпульсных сигналов представлена на Рис.2.

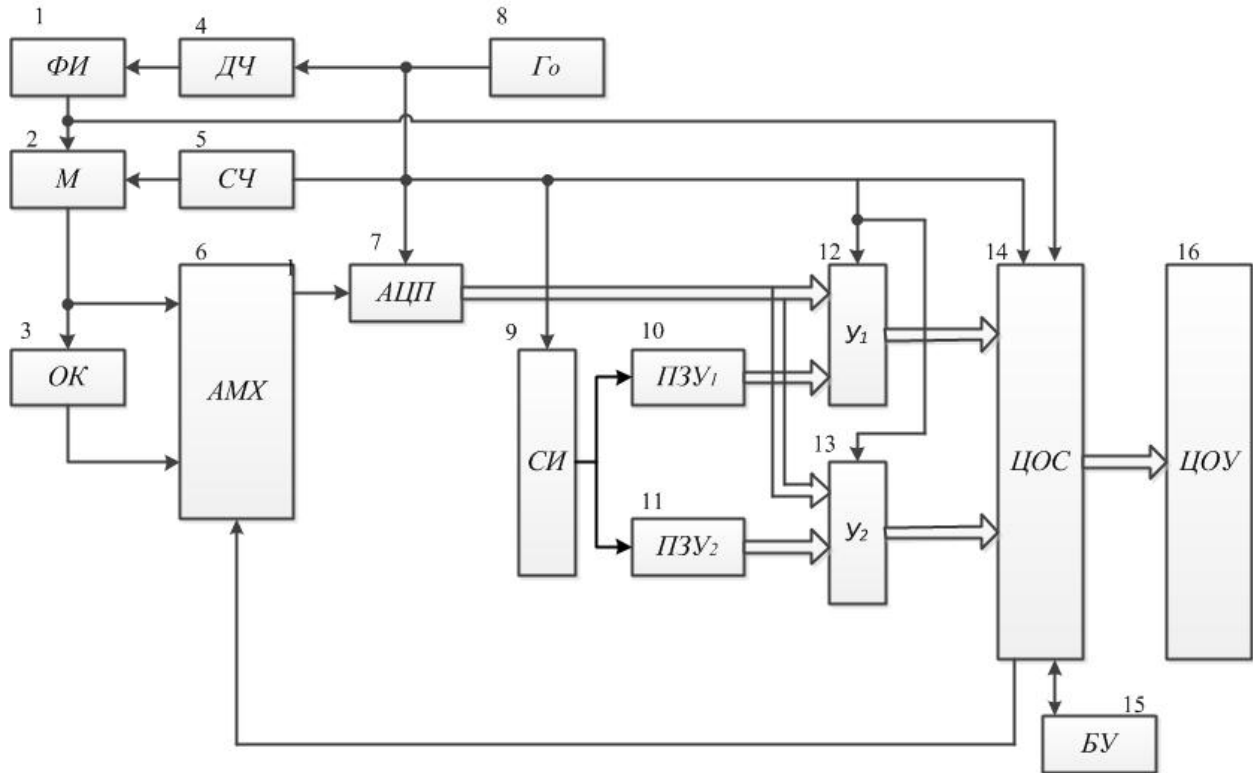


Рис. 2 – Структурная схема системы измерения фазовых сдвигов радиоимпульсных сигналов где, 1 – формирователь длительности радиоимпульсов импульсов; 2 – модулятор; 3 – объект контроля; 4 – формирователь периода следования радиоимпульсов на базе делителя частоты; 5 – синтезатор частоты (DDS) заполнения радиоимпульса; 6 – аналоговый мультиплексор; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – высокостабильный генератор сигналов частоты дискретизации; 9 – счетчик импульсов; 10, 11 – постоянные запоминающие устройства; 12, 13 – умножители цифровых сигналов; 14 – блок вычисления (цифровой обработки сигналов); 15 – блок управления; 16 – цифровое отчетное устройство.

Система работает в два этапа. На первом этапе по сигналу с блока управления 15 с помощью аналогового мультиплексора 6 входной радиоимпульс может поступить непосредственно на вход АЦП, где он кодируется и затем вычисляется его начальная фаза, которая хранится в памяти блока цифровой обработки сигналов, т.е. производится калибровка системы. На втором этапе с помощью мультиплексора 6 на вход АЦП подается измерительный радиоимпульс прошедший через объект контроля.

Измерение фазы соответствующего сигнала (в зависимости от выбранного режима работы системы) происходит следующим образом. С генератора сигналов 8 на блок формирователя радиоимпульсных сигналов (блоки 1,2,4,5) подаются импульсы частоты дискретизации АЦП. Сформированный радиосигнал вида $u_1(t) = U_1 \cos(2\pi ft + \phi_1)$, подается на ОК, после прохождения которого измеряемый сигнал приобретает вид $u_2(t) = U_2 \cos(2\pi ft + \phi_2)$. При этом как упоминалось выше для исключения методической погрешности, вызванной не кратностью длительности выборки сигналов периоду заполнения радиоимпульсов, авторами предложено использовать в качестве синтезатора частоты 5 генераторы типа DDS запускаемые сигналами частоты дискретизации, что позволяет формировать излучаемые радиоимпульсные сигналы с длительностью импульса, периода следования и частотой заполнения кратной частоте дискретизации АЦП, т.е. иметь на входе исследуемого объекта контроля радиосигнал когерентный частоте дискретизации АЦП.

Цифровые сигналы, получаемые на выходе АЦП поступают на один из входов цифровых умножителей, на вторые входы которых поступают соответственно ортогональные цифровые сигналы с ПЗУ с частотой дискретизации, поскольку формирование адреса этих ячеек памяти осуществляется счетчиком 9, подсчитывающим импульсы генератора частоты дискретизации 8. При вычислении ортогональных компонентов a_s и a_c (1) измеряемого сигнала в блоках 12, 13, 14 выполняются арифметические операции умножения и сложения с последующим формированием квадратурных составляющих сигнала [3,4,5, 6]:

$$a_s = \sum_{j=1}^{M_{ад}} u_i[j] u_s[j], \quad a_c = \sum_{j=1}^{M_{ад}} u_i[j] u_c[j] \quad (1)$$

где $u_i[j]$ - выборка входного сигнала; $u_s[j]$, $u_c[j]$ - синусная и косинусная составляющие опорного сигнала, предварительно записанные в ПЗУ 10 и 11; $M_{ад}$ - количество элементов выборки сигнала. Начальная фаза

измеряемого сигнала относительно опорного определяется вычислением функции арктангенса в блоке 14, результаты которого выводятся на устройство 16. Блок 8 осуществляет синхронизацию работы всей системы, работой которой управляет блок управления 15.

Использование фактически одного измерительного канала в виде одного АЦП позволяет не только удешевить систему измерения фазовых сдвигов сигналов, но и повысить точность измерения при относительных измерениях. Синхронизация работы АЦП формирователя радиоимпульсных сигналов и формирователя опорных ортогональных сигналов от одного генератора сигналов дискретизации АЦП позволило:

исключить методические погрешности связанные с не кратностью частоты дискретизации АЦП с частотой, длительностью, и периодом следования радиоимпульсов, а также существенно уменьшить погрешности за счет изменений начальной фазы сигналов высокостабильного генератора частоты дискретизации относительно фазы входного сигнала и фазы опорных ортогональных сигналов. В данном случае они фактически являются когерентными (запускаются от одного генератора) нестабильность может определяться нестабильностью счётчиков импульсов т.е. быть очень малой. Особенно следует отметить, что рассмотренная цифровая система прецизионного измерения фазовых сдвигов радиоимпульсных сигналов позволила непосредственно реализовать оптимальные ортогональные методы измерений в цифровом виде, предложенные и теоретически исследованные Пестряковым В.Б. ещё в 1960 годах [7] и не получивших широкого распространения для измерений фазовых сдвигов, из-за сложностей аппаратной реализации. Также надо отметить, что точность измерений фазовых сдвигов радиоимпульсного сигнала рассмотренной системой не уменьшится по сравнению с использованием непрерывных сигналов

Литература

1. Чмых М.К. Цифровая фазометрия/Чмых М.К. – М.: Радио и связь, 1993.- 184 с.:ил.
2. Патент Украины №103094, 10.09.2013
3. Баженов В.Г., Богдан Г.А. Спосіб для вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів // патент України на винахід №103094 с2 МПК (2013.01) G04F10/00, Бюл.№17
4. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов/ Уолт Кестер – Москва: Техносфера, 2010.-328с. ISBN978-5-94836-243-4
5. Айфичер Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание/ Айфичер Э.С., Барри У. А. Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2008.-992 с.:ил.-Парал. тит. англ. . ISBN978-5-8459-0710-3 (рус)
5. Куприянов М.С. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования/ Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. - СПб.: Политехника, 1998.-592с.: ил. . ISBN 5-7325-0486-9
6. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box502407, San Diego, CA92150. Also available at: <http://www.dspguide.com> or <http://www.analog.com>
7. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории)/ Пестряков В.Б. - «Советское радио», 1968, стр. 468.а

References

1. Chmyh M.K. Cifrovaja fazometrija/Chmyh M.K. – M.: Radio i svjaz', 1993.- 184 s.:il.
2. Patent Ukrainy №103094, 10.09.2013
3. Bazhenov V.G., Bogdan G.A. Sposib dlja vimirjuvannja fazovogo chasu prohodzhennja radioimpul'snih signaliv // patent Ukraini na vinahid №103094 s2 MPK (2013.01) G04F10/00, Bjul.№17
3. Uolt Kester. Proektirovanie sistem cifrovoj i smeshanoj obrabotki signalov/ Uolt Kester – Moskva: Tehnosfera, 2010.-328s. ISBN978-5-94836-243-4
4. Ajficher Je. S. Cifrovaja obrabotka signalov: prakticheskij podhod, 2-e izdanie/ Ajficher Je.S., Barri U. A. Per. s angl.- M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2008.-992 s.:il.-Paral. tit. angl. . ISBN978-5-8459-0710-3 (rus)
5. Kuprijanov M.S. Cifrovaja obrabotka signalov: processory, algoritmy, sredstva proektirovani/ Kuprijanov M.S., Matjushkin B.D. - SPb.: Politehnika, 1998.-592s.: il. . ISBN 5-7325-0486-9
6. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box502407, San Diego, CA92150. Also available at: <http://www.dspguide.com> or <http://www.analog.com>
7. Pestrjakov V.B. Fazovyje radiotekhnicheskie sistemy (osnovy statisticheskoy teorii)/ Pestrjakov V.B. - «Sovetskoe radio», 1968, str. 468.a

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.180

Бойченко О.В.¹, Дячук В.С.²¹ORCID: 0000-0003-3326-1015, Доктор технических наук, профессор, ²ORCID: 0000-0002-0643-8877, Магистр, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского**ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА МЭК 61850****Аннотация**

В статье рассмотрен принцип построения информационной модели цифровой подстанции по основным главам стандарта МЭК 61850.

Установлена проблематика систем защиты данных на объектах электроэнергетики, которая обусловлена ограниченностью состояния единой стандартизированной структуры информационного обмена на подстанции, а также отсутствием унифицированных механизмов защиты информации.

Предложена модель интеллектуальной цифровой подстанции, которая позволяет решать проблемы автоматизации управления процессами информационного обмена на энергообъекте.

Ключевые слова: энергообъект, цифровая подстанция, стандарт МЭК 61850.

Boychenko O.V.¹, Dyachuk V.S.²¹ORCID: 0000-0003-3326-1015, PhD in Engineering, Professor, ²ORCID: 0000-0002-0643-8877, Master, V.I. Vernadsky Crimean Federal University**CONSTRUCTION OF THE INFORMATIONAL MODEL OF DIGITAL SUBSTATIONS ON THE BASIS OF THE STANDARD IEC 61850****Abstract**

The article describes the principle of construction of the information model of digital substation according to main chapters of IEC 61850.

Installed problems of data protection systems at energy facilities, which is caused by the limited condition single standardized framework of information exchange in the substation, as well as lack of unified data protection mechanisms.

A model of intelligent digital substation, which allows to solve the problem of process control automation of information exchange at a power plant.

Keywords: energy object, digital substation, standard IEC 61850.

Значительное место в современном обществе занимает защита объектов электроэнергетики, так как функционирование стратегически важных объектов государства, благополучное и полноправное проживание граждан без обеспечения электроэнергией невозможно.

Свидетельством этому являются недавние события в Республике Крым. При вступлении в силу энергетической блокады полуострова в холодное время года (ноябрь 2015 – январь 2016 гг.) многие семьи оказались без отопления и полноценных условий проживания, учебные заведения прекратили работу, а лечебные учреждения не имели возможности оказывать свои услуги.

Также следует упомянуть первый и единственный в мире подтвержденный случай выведения электрической сети из строя, который произошел на предприятии «Прикарпатьеоблэнерго» 23 декабря 2015 года [1]. Схема работы хакеров была тщательно спланирована в соответствии с функциональной структурой подстанции, что в следствии может привести к повторным атакам в сфере электроэнергетики на схожих объектах, например, подстанциях Республики Крым. Такие события содержат большую угрозу системе национальной безопасности и требуют тщательного и конструктивного анализа всех областей защиты объектов электроэнергетики, а в особенности – информационной безопасности цифровых подстанций.

Достижение максимальной защиты данных на цифровых подстанциях подразумевает переход к инновационным системам автоматизации и управления информационным обменом, основанным на последних стандартах и технологиях. К числу последних Алексей Данилин, Татьяна Горелик, Олег Кириенко и Николай Дони относят следующие:

1. Группу информационных стандартов МЭК 61850;
2. Цифровые измерительные устройства;
3. Аналоговые мультиплексоры;
4. Выносные модули УСО;
5. Интеллектуальные электронные устройства[2].

Термин «Цифровая подстанция» сегодня определённо ассоциируется с информационным стандартом МЭК 61850. Свою уникальность данный комплекс стандартов, в отличие от предшествующих, представляет и в регламентации процессов информационного обмена между устройствами, и в схематизации самой структуры подстанции, её уровней и свойств. В стандарте также предусмотрено использование цифровых измерительных устройств на смену аналоговым.

Рассмотрим модель цифровой подстанции (далее – ЦП) по МЭК 61850. Согласно стандарту система автоматизации информационного обмена на энергообъекте по схеме ЦП должна состоять из трех уровней: процесса, присоединения и станции. В свою очередь каждый уровень выполняет соответствующие ему функции, за которые отвечают определенные типы устройств: измерительные для уровня процесса, наблюдения и реагирования для уровня присоединения и диспетчерский центр для уровня станции (Рис.1).

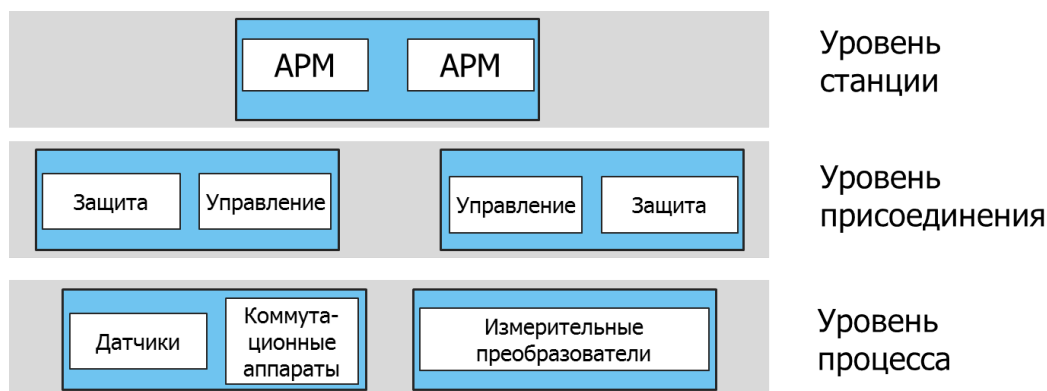


Рис. 1 – Архитектура системы автоматизации ЦП

Такая схема автоматизации ЦП представлена в первой главе первой редакции стандарта МЭК 61850. Во второй редакции архитектура ЦП была расширена и приведена в соответствии с функциями между каждым из уровней, а также рассмотрен вопрос взаимодействия нескольких ЦП (Рис.2).

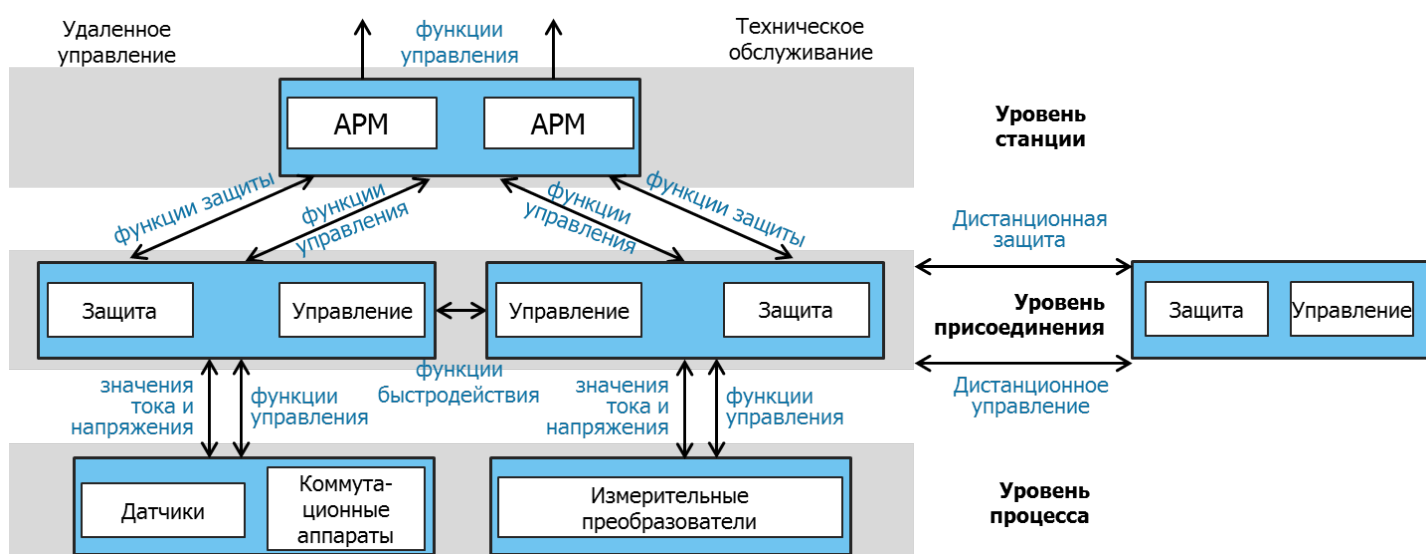


Рис. 2 – Архитектура системы связей в модели ЦП

Датчики сбора информации на уровне процесса передают данные о значениях тока и напряжения на уровень присоединения, где их обрабатывают устройства мониторинга. По результатам проверки значений при обнаружении ошибки подается сигнал в устройства релейной защиты и автоматики, при помощи функции защиты отправляются данные на уровень станции. Через функции управления АРМ сообщает на уровень присоединения в устройства управления и далее на уровень процесса команду, например, «выключить коммутационные аппараты».

Вышеперечисленные функции детально указаны в технических рекомендациях МЭК 61850-5 первой редакции. Пятая глава стандарта регламентирует требования к производительности системы в разрезе временных характеристик процессов.

Таким образом, обязательно должны быть учтены такие составляющие полного времени передачи сигнала по сети как:

- время кодирования поступившего сигнала от уровня процесса;
- время передачи сигнала по сети связи;
- время декодирования полученных данных и их передачи в другие устройства [3].

Впервые структура коммуникаций на уровнях ЦП представлена в седьмой главе стандарта МЭК 61850, основу которой составляют Логические узлы (Logical Node) – наименьшие элементы, способные обмениваться данными. В части проектирования модели ЦП логические узлы разделены на классы, которые имеют либо собственные, либо общие атрибуты. Не все атрибуты, присущие какому-либо классу, обязательны.

Имя класса логического узла состоит из четырех символов: первый – наименование группы логического узла, остальные три – аббревиатура от названия конкретной сети связи, относящейся к данной группе. Всего стандарт регламентирует 19 групп логических узлов [4].

Таким образом, можно представить модель ЦП с присвоением каждому из устройств имени основного логического узла (Рис.3).

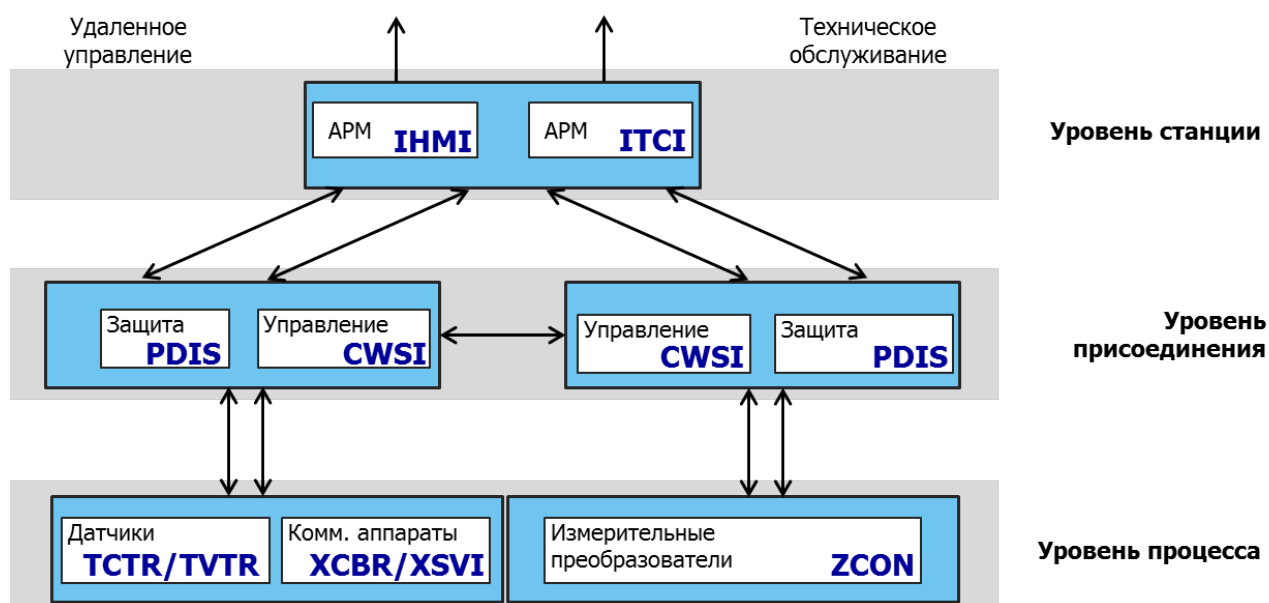


Рис. 3 – Архитектура логических узлов в модели ЦП

Восьмая и девятая главы стандарта регламентируют применение протоколов передачи данных между устройствами, а также уровнями ЦП. Следует указать тот факт, что все протоколы были усовершенствованы согласно новой модели подстанции. Так, например, по протоколу GOOSE в части семиуровневой модели OSI данные назначаются с прикладного непосредственно на канальный уровень, минуя при этом представительский, сеансовый, транспортный и сетевой. Следовательно, сокращается полное время передачи данных по сети.

Всего в стандарте МЭК 61850-8-1 предусмотрено два варианта коммуникационных профиля, по которым действуют протоколы: MMS и Non-MMS. Профиль Non-MMS является горизонтальным и предусматривает информационный обмен между устройствами одного уровня, к нему и относится протокол GOOSE. Передача мгновенных значений тока и напряжения от измерительных устройств в устройства РЗА по протоколу Sampled Values (SV) является вертикальным профилем, как и сам MMS, по которому поступают сигналы защиты в диспетчерский центр на АРМ.

Таким образом, полномасштабная функциональная модель цифровой подстанции будет иметь следующий вид (Рис.4):

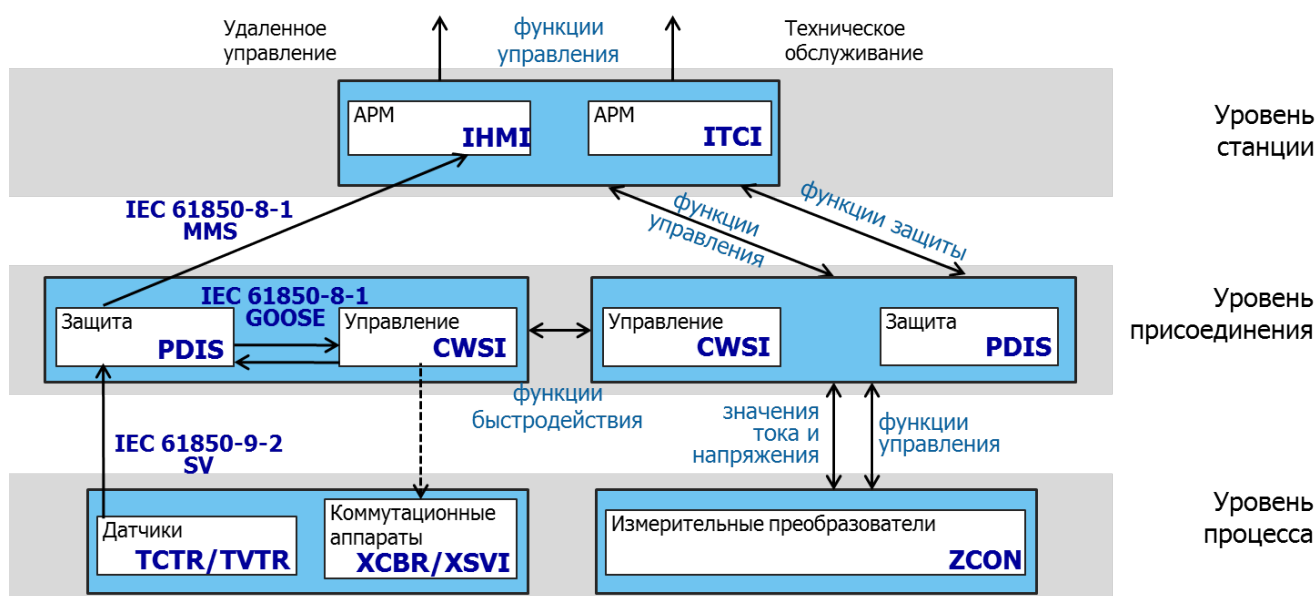


Рис. 4 – Информационная модель цифровой подстанции по МЭК 61850

Таким образом, стандарт МЭК 61850 направлен на минимизацию количества воздействующих факторов на информационные системы подстанций за счет снижения числа задействованных элементов системы и приведения их на более новый уровень с применением цифровых интеллектуальных устройств.

Информационная модель цифровой подстанции по стандарту МЭК 61850 является первым шагом к переходу на новый уровень организации подстанций и служит базисом для исследования угроз и уязвимостей её составляющих, а также выявления особенностей внедрения на энергообъектах как Республики Крым, так и Российской Федерации.

Разработанная модель позволяет решать проблемы совместимости механизмов автоматизации управления процессами информационного обмена на энергообъекте, что приводит к повышению эффективности контроля бесперебойной поставки электроэнергии в условиях энергодефицита и массовых случаев несанкционированного потребления электроэнергии (по данным Крымэнерго за 2015 год похищено около 235 млн. кВт электроэнергии, что составляет ущерб в 500 млн. руб. [5]).

Литература

1. Ализар А. Подробности о беспрецедентном взломе электрической сети Украины / А. Ализар // [Электронный ресурс]. – URL: <https://geektimes.ru/> (дата обращения 21.03.2016).
2. Данилин А. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / А. Данилин, Т. Горелик, О. Кириенко, Н. Дони // Журнал "ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение" №3. – 2012 // [Электронный ресурс]. – URL: http://eep.ru/article/Cifrovaya_podstaniya_Podhody_k_realizacii/ (дата обращения 20.03.2016).
3. Головин А. Структура стандарта МЭК 61850 / А. Головин, А. Аношин // [Электронный ресурс]. – URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2012/10/18/struktura-standarta-me-k-61850/> (дата обращения 21.03.2016).
4. ГОСТ Р МЭК 61850-7-3-2009. Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 3. Классы общих данных // [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-61850-7-3-2009> (дата обращения 20.03.2016).
5. Новости Крыма. В Крыму назвали ущерб от хищения электроэнергии // Новости Крыма. Крымская служба новостей // [Электронный ресурс]. – URL: <http://news.allcrimea.net/news/2015/12/10/v-krymu-nazvali-usherb-ot-hisheniya-elektroenergii-50391/> (дата обращения 23.03.2016).

References

1. Alizar A. Podrobnosti o besprecedentnom vzlome ehlektricheskoy seti Ukrainy / A. Alizar // [EHlektronnyj resurs]. – URL: <https://geektimes.ru/> (data obrashcheniya 21.03.2016).
2. Danilin A. Cifrovaya podstaniya. Podhody k realizacii / A. Danilin, T. Gorelik, O. Kirienko, N. Doni // ZHurnal "EHLEKTROEHNERGIYA. Peredacha i raspredelenie" №3. – 2012 // [EHlektronnyj resurs]. – URL: http://eep.ru/article/Cifrovaya_podstaniya_Podhody_k_realizacii/ (data obrashcheniya 20.03.2016).
3. Golovin A. Struktura standarta MEHK 61850 / A. Golovin, A. Anoshin // [EHlektronnyj resurs]. – URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2012/10/18/struktura-standarta-me-k-61850/> (data obrashcheniya 21.03.2016).
4. GOST R MEHK 61850-7-3-2009. Seti i sistemy svyazi na podstaniyakh. CHast' 7. Bazovaya struktura svyazi dlya podstancij i linejnogo oborudovaniya. Razdel 3. Klassy obshchih dannyh // [EHlektronnyj resurs]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-61850-7-3-2009> (data obrashcheniya 20.03.2016).
5. Novosti Kryma. V Krymu nazvali usherb ot hishcheniya ehlektroehnergii // Novosti Kryma. Krymskaya sluzhba novostej // [EHlektronnyj resurs]. – URL: <http://news.allcrimea.net/news/2015/12/10/v-krymu-nazvali-usherb-ot-hisheniya-elektroenergii-50391/> (data obrashcheniya 23.03.2016).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.011

Бойченко О.В.¹, Тупота Е.С.²

¹ORCID: 0000-0003-3326-1015, Доктор технических наук, ²студент, Институт экономики и управления
ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ САЙТОВ

Аннотация

В статье рассмотрена возможность использования современной технологии ситуационных центров в разработке методов и алгоритмов обработки информации в информационных системах поддержки решений.

Ключевые слова: информационная система поддержки решений, ситуационный центр, система хранения данных.

Boychenko O.V.¹, Tupota E.S.²

¹ORCID: 0000-0003-3326-1015, PhD in Engineering, ²student, Institute of Economics and Management,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University

PROBLEM SOLVING OF WEBSITE VULNERABILITY

Abstract

In the article possibility of the use of modern technology of situational centers is considered in development of methods and algorithms of treatment of information in the informative systems of support of decisions.

Keywords: information system decision support, situational center, storage system.

Вопрос актуальности защиты веб ресурса от взлома весьма актуален. Веб сайт является своеобразным диалоговым окном между покупателем и производителем. Злоумышленники могут как и похищать персональные данные клиентов, так и специально видоизменять сайт, либо перенаправлять пользователей на другие необходимые взломщикам ресурсы. Взломы могут быть абсолютно разные. Рассмотрим основные виды уязвимости и пути обеспечения безопасности ресурсов.

Цель. Составить реестр общераспространённых уязвимостей веб ресурсов. Разработать концепцию поведения владельца веб-сайтов в случае взлома.

Результаты исследования. Например, есть группа взломщиков, которые с помощью взлома размещают на сайтах оскорбительную или неуместную информацию, изменяет исходный код страницы. В данном случае необходимо просто восстановить сайт из последнего бэкапа и удалением всей неуместной информации. Однако, говорить о полной безопасности веб сайта, без своевременного контроллинга безопасности, невозможно.

Определенную опасность представляют взломщики, которые преднамеренно пытаются украсть данные, незаметно подменить информацию или специально распространять вредоносную информацию. В данной ситуации необходимо оградить контент от посетителей сайта.

Рассмотрим самые актуальные проблемы взлома и практические примеры по устранению или уменьшению влияния на безопасность веб ресурса в целом.

Одним из самых простых способов «незаметного взлома» является кликджекинг. Хакер поверх сайта- жертвы кладет iframe, пользователь делает привычные ему действия, однако эти же самые действия делаются на другом – «замаскированном» сайте, который работает внутри iframe. Этого достичь весьма просто, путем создания идентичных координат на хакерском сайте. Однако, разработчик может предотвратить данную ситуацию путем добавления тега X-Frame-Options: DENY.

Фишинг один из самых популярных методов получения уникальных данных пользователей в виде логина или пароля доступа к конкретному ресурсу. Создаются сайты-клоны, с идентичным интерфейсом, пользователям осуществляется рассылка с целью их дальнейшего перехода на них. Например, вместо сайта google.com мы получим goggle.com gogle.com и так далее. Стоит отметить, что современные браузеры защищены от фишинга, однако дополнительная проверка в виде SMS может уберечь пользователя от разглашения его конфиденциальной информации, например как номер банковской карты и т.д.

Недостаточное шифрование данных. Разработчику необходимо убедиться, что хранимая или передаваемая конфиденциальная информация не может быть изъята без определенного разрешения. Необходимо применять зашифрованные протоколы сертификата SSL.

Кража ID сессии. Имея уникальный идентификатор сессии, у хакера пропадает необходимость в пароле или логине пользователя, что бы «стать» им. Уникальный индентификатор сессии хранится в cookie браузера. Стоит учесть, что в браузере может быть отключены параметры cookie, тогда его можно найти в самом URL. Меры по противодействию кражи представлены на рисунке 1.



Рис. 1 – Меры по противодействию кражи

Использование серверных решений для аутентификации не допустимо, так как сервер автоматически добавляет ID сессии в URL. При изменении критической информации или совершении важных операций, осуществлять двойную проверку пароля. Использование SSL сертификатов, что позволяет зашифровать передаваемые данные;

Кража ID сессии, является самой популярной атакой среди онлайн-сервисов.

Атаки типа XSS. Представляет собой атаку по внедрению кода, который будет выполнен на компьютере жертвы при открытии страницы. Данные могут быть изъяты из форм, с помощью отслеживания события onsubmit. Таким образом, перед отправкой формы на сайт, эта же информация попадет в руки злоумышленника. Уязвимость данного типа может быть использована для проведения распределенной атаки (DDoS). Передается большое количество запросов, которые «ломают» сервер. Данную уязвимость можно отнести к данному классу в случае использования скриптов. Подделка межсайтовых запросов (CSRF) в комплексе с XSS уязвимостью могут помочь злоумышленнику получить конфиденциальную информацию. Пользователь проходит на защищенном сайте аутентификацию, переходит на не защищенный сайт, тем самым передавая запрос на реализацию той или иной операции. Возможно осуществить следующую защиту сайта от данного типа атаки/уязвимости:

- * Не встраивать счетчик посещаемости на сайтах, информация о количестве пользователей и их IP передается на посторонние сайты, который может быть подвержен атаке;

- * Кодирование JavaScript, CSS правил и URL, перед отображением на странице.

- * Использование кодирования входных данных, с помощью библиотеки HTML Purifier

- * Обеспечение безопасностей cookie, с помощью использования SSL протокола, использования параметров типа HTTPOnly и т.д.

- * Рекомендовать пользователям веб-ресурса использовать специальные расширения для браузеров, которые будут проверять поля форм и своевременно предотвращать их запуск.

В случае взлома веб ресурса, необходимо осуществить ряд мер. (рис. 2.)



Рис. 2 – Меры осуществляемые в случае взлома веб-сайта

Рассмотрим каждый этап более подробно.

Первое мероприятие, требует немедленное закрытие сайта на проведение дальнейших «ремонтных» работ. Это необходимо осуществить, так как взлом мог быть осуществлен с помощью рабочих файлов, и мы рискуем снова столкнуться с проблемой взлома. Таким образом, мы обеспечиваем защиту посетителей сайта от посещения взломанных страниц и некорректной информации. И обеспечиваем работу по восстановлению ресурса.

Вторым этапом является, попытка восстановления сайта через последний сделанный бэкап. Стоит отметить, что взломщики вполне могли удалить их, либо бэкапы могут касаться только конкретной части сайта. В таких случаях автоматически восстановить сайт не получится. Необходимо идти дальше.

Третьим этапом является проверка файла .htaccess. Данный вид взлома является популярным среди хакеров. С помощью изменения содержимого файла злоумышленники могут добавить собственные страницы или осуществлять перенаправление пользователей на сайты-клоны с попыткой дальнейшего фишинга. Стоит учитывать, что зачастую хакеры встраивают вредоносные PHP файлы.

Четвертый этап является, поиск файлов намеренно добавленных хакерами. Отметим, что работают в основном с .php и .js файлами. Для этого на сервер добавляются файлы с похожими на стандартные именами. Однако стоит учесть тот факт, что злоумышленник может преднамеренно модифицировать имеющиеся файлы. И в этом случае, зачастую модифицируется сам код java script, в этом случае необходимо точно понимать функционал файла. Существуют утилиты, которые вполне могут справиться с поставленной задачей самостоятельно- PHP Decoder UnPHP. Хакер может исказить файлы, чтобы в ручную их не возможно было проанализировать без углубленных специфических знаний.

Пятым этапом является, очистка зараженной информации. Необходимо заново добавить ключевые файлы, сценарии, плагины.

Шестым этапом является, поиск причины уязвимости сайта и ее закрытие. Необходимо обновить все пароли доступа к сайту, заменить устаревшие плагины и скрипты.

Существует ряд программ и плагинов для упрощения этих этапов- WordPress плагин Exploit Scanner, плагин Antivirus. Exploit Scanner не является совершенным, т.к. может указывать и на «здоровый» код. Однако ручное сканирование, приведет к более точному результату.

Таким образом, в результате проведенных исследований было выявлен перечень основных уязвимостей сайтов. Были разработаны реестры описывающие возможности предотвращения или уменьшения риска возникновения уязвимости. Был разработан перечень мер по ликвидации взлома веб-ресурса и представлены программные продукты позволяющие упростить некоторые этапы.

Литература

1. Кукушкин Н. В., Чиркин Е. С. Автоматизированный поиск уязвимостей веб-сайтов // Гаудеамус . 2012. №20. С.138-139.
2. Брумштейн Юрий Моисеевич, Бондарев Андрей Андреевич Системный анализ вопросов информационной безопасности вузовских сайтов // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика . 2014. №2. С.138-147.
3. Ярочкин, В.И. Информационная безопасность; Академический проект - М., 2008. - 544 с.

References

1. Kykushkin N. V., Chirkin E. S. Avtomatizirovannyj poisk uязvimostej veb-sajtov // Gaudeamus . 2012. №20. S.138-139.
2. Brumshtejn Jurij Moiseevich, Bondarev Andrej Andreevich Sistemnyj analiz voprosov informacionnoj bezopasnosti vuzovskih sajtov // Vestnik AGTU. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika . 2014. №2. S.138-147.
3. Jarochkin, V.I. Informacionnaja bezopasnost'; Akademicheskij projekt - M., 2008. - 544 с.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.278

Буклагин Д.С.

Доктор технических наук, «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»)

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация

В статье показано важное значение испытаний сельскохозяйственной техники в решении задач модернизации сельскохозяйственного производства. Отмечены недостатки существующей методологии полевых испытаний машин в значительной степени, обусловленных отсутствием отработанной технологии испытаний, основанной на современных достижениях измерительной техники и использования навигационных систем Глонасс/GPS. На основе анализа использования навигационных систем в сельскохозяйственной промышленности, достижений в научной сфере, ставится задача развития методов и технических средств испытаний с использованием технологии ГЛОНАСС/GPS и сотовой связи, позволяющих повысить достоверность результатов в условиях реальной эксплуатации.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, испытания, навигационная система, сотовая связь, методы измерений, достоверность результатов, развитие, модернизация, реальные условия эксплуатации.

Buklagin D.S.

PhD in Engineering, Federal State Budgetary Scientific Institution

“Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex” (FGBNU “Rosinformagrotekh”)

DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY TESTING TECHNOLOGIES

Abstract

The article demonstrates the importance of agricultural machinery testing in solving the agricultural industry modernization task. The drawbacks of the existing methodology of machines field tests to a large extent conditioned by the lack of the tried-and-true test technology based on the latest achievements of the measuring equipment and use of GLONASS/GPS navigation systems and on-line communication are mentioned. Based on the analysis of the use of navigation systems in agricultural industry and scientific achievements, the development of tests methods and techniques is challenged using GLONASS/GPS and cellular telecommunication, which allow increasing results reliability under the actual operating conditions.

Keywords: agricultural machinery, tests navigation system, cellular communications, measurement methods, results reliability, development, modernization, actual operating conditions.

To increase the competitiveness of the Russian agricultural products, it is required to reduce costs, improve product quality and labor productivity. It can only be achieved by using a new high-tech equipment or technology with significantly improved consumer performances. This means that agricultural producers have to operate such processing machines which excel analogs or other machines available at farms. Replacement of the overage machine with the new one, typically, does not produce the desired effect, i.e. each new machine shall be purchased to replace obsolete models and include such innovation measures which will be effective for agricultural producers, increase the competitiveness of their products.

Answers to these questions are closely related to the development of machines tests system of the Russian Ministry of Agriculture, which is to determine the functional characteristics (consumer properties) and the efficiency of agricultural machinery and equipments and to meet the challenges of the technical and technological modernization of agricultural industry.

At present the test system includes 10 machine testing stations (MTS) testing machinery and technologies, including foreign ones, in the main soil-climatic zones of Russia and render substantial assistance to the agro-industrial complex experts in selection of future machines and technologies by publication of test results in various editions and the Internet, participation in training and retraining of personnel, arrangement of exhibition activity in regions.

The test technologies are regulated with about 7500 codes and specifications, including about 300 developed in the MTS system. They are provided with measurement instrumentation, including mobile data-processing systems for indicators definition as per the assessment types: agronomic, energy, working conditions, operation-and-technological and economic, evaluation of other design parameters of machines.

About 15% of the tests total volume is covered by the foreign equipment tests, which data are used for assessment of the quality of the process performed by multipurpose agricultural machines and justification of economic efficiency resulted from their operation in Russia.

One of the main objectives of the tests is to increase the reliability of the results obtained. Meanwhile, the currently used technologies of field tests do not often provide the required accuracy of equipment assessment, not always take into account the actual operation conditions are determined. For example, the high degree accuracy indicators of machine reliability can be determined only during the long-term tests under common operation of several machines that seldom are implemented in practice.

The existing test methodology has the following drawbacks:

- time of an experiment is limited to laboratory experiments;
- test results by assessment types are do not often coincide with time and test conditions;
- there are restrictions on the number of simultaneously tested machines;
- insufficient amount of running hours;
- virtually no comparative tests.

For example, the quality of the machines operation is estimated based on the results of laboratory and field tests on short plots (30-100 m), typically with homogeneous background. Indicators of energy assessment, including fuel consumption, will be determined under the results of at least four measurements obtained within at least 20 sec. [1]. This may 1.5-2.0 times overestimate the figures obtained under actual operation conditions, reduce the accuracy of the economic indicators determination and assessment of tested equipment perfection degree.

Currently the system of machine testing undergoes technical modernization, is provided with modern laboratory, instrumentation and test equipment, reference standards of modern tractors and agricultural machinery, information and measurement complexes for the wireless information transmission, data collection and processing on the basis of GLONASS and GPS, wireless Internet to use them for testing (validation) sites.

This paper considers the trends of improving the existing and developing new methods of testing of agricultural machinery and machine agricultural technologies based on use of the latest achievements in the field of measuring techniques, telemetry and navigation systems.

According to the analysis by the present time the significant steps have been taken towards creation of global space systems of localization and advanced telecommunications systems. Although these systems are quite costly, but due to their capabilities and scales they are dynamically implemented in agricultural industry.

The Global Positioning Systems are widely used in motor vehicles for optimal routing and monitoring of queuing, in technologies of precise agriculture.

According to expert estimation, today the area of crops cultivated with precision farming technologies is about 1 million hectares. For example, in Belarus the scientists are already working on development of elements of intelligent farming system. This system involves the use of unmanned harvesters and tractors in agriculture. The system includes remote controlled agricultural machinery. The movement of agricultural machinery will be controlled by the satellite on which base the global management system will be established [2].

Use of telemetry systems is one of the promising trends of development, especially in terms of control of transport systems. GLONASS/GPS-receivers are already installed on agricultural machinery. Navigators record different indicators: transport and agricultural machinery movement, fuel consumption and speed, then send the collected information via high-speed data transmission network to a single server for costs processing and optimization. [3].

Equipment of agricultural machinery with navigation systems allows for real-time:
 monitoring of agricultural machinery location, direction and speed;
 monitoring of technological speed maintenance of the equipment during field work;
 collection of information to issue the field certificate, determine the exact boundaries of the fields, measure the area of farmland, crop yields;
 identification of equipment downtime and failures;
 monitoring of equipment movement e (quality of border cultivation during seeding and treatment with herbicides);
 study of physiological properties of an operator for the performances of human-machine systems.

Outfitting agribusiness with GLONASS/GPS systems witnesses that the domestic agriculture is becoming hi tech economy sector. Therefore, the test methods of mechanical means should be based on advanced development and wide use of modern measuring equipment in testing technologies.

Today it is hard to imagine that modern science-intensive and innovative machines and technologies can be evaluated with the test methods developed over half a century ago.

Thus, future models of testing technologies should be based on the technologies which allow testing under actual operating conditions and arranging comparative testing machines in a new light.

The application of modern measuring systems allows for much more objective information describing a test object and equipment operating conditions, carrying out the timing, recording all the necessary values, including equipment failures, responding in due time to changes in the technical conditions and rules of the machines operation, use of specialized programs to determine the main indicators of equipment under test.

The test methodology based on navigation systems can increase the number of simultaneously tested objects, including in several regions, at different machine testing stations, that increases the results objectiveness of agricultural machinery testing, benefits the information processing and receipt of various reports on test results. Considering that in the course of operation the agricultural machinery is subjected to a large number of factors, the numerical values of indicators are random variables, so improvement of the test reliability requires an increase in operating time, continuous measurements and system analysis of machines designation indexes, that brings the tests to the routing operation conditions, increases the accuracy of their determination and results of the comparison with an analogue. Such test methodology can be provided by measuring systems with GLONASS/GPS.

Foreign practice confirms that the upgrading of machines complexity, their outfitting with electronic systems increasingly orient tests on the accuracy improvement of field conditions simulation, the use of the latest test methods to generate comparable data and objective information obtaining for making investment decisions. New test methods cover the systems of GPS, ISOagriNET (standard of data transfer systems compliance), ISOBUS (standard for data exchange) which allow combining the measurement data obtaining and its mathematical processing directly in the experiment using the specialized computing devices [4].

The GPS-components are also applied in foreign measuring systems for testing vehicles for noise, fuel consumption and other indicators. Such systems are primarily focused on reducing the time spent for equipment installation and maximum reliability of measurements [5, 6].

To collect information for operational and technological assessment is quite labor intensive process, therefore the investigators constantly attempt to automate this process using different systems: АРИСА, ИП-238, ИП-261, ИП-264 and others. However, the problem of observations results processing has not been completely solved yet.

Although a number of sensors and transducers, which can be used in the system of machine testing have already been developed [7], to measure all parameters provided by regulatory guidance documents the focused efforts will be applied to establish a system of primary transducers which ensure the required measurements and transmission via the GLONASS/GPS information on current (shift) fuel consumption, performance, yield, error-free running time and other indicators. The analysis shows that the use of navigation systems is beginning to be applied for the purposes of machines testing.

Currently, several developments are known which relate to the use of GLONASS/GPS in the field of agricultural machinery testing and aimed at improving the accuracy of measurements. The experts of Tekhnokom LLC developed “AvtoGRAF” - a system of satellite monitoring based on the modern technologies in the field of satellite navigation and channels of data communication and processing [8]. The system allows on-line monitoring of vehicle location, its movement direction, mileage and the volume of fuel consumed (Fig. 1).

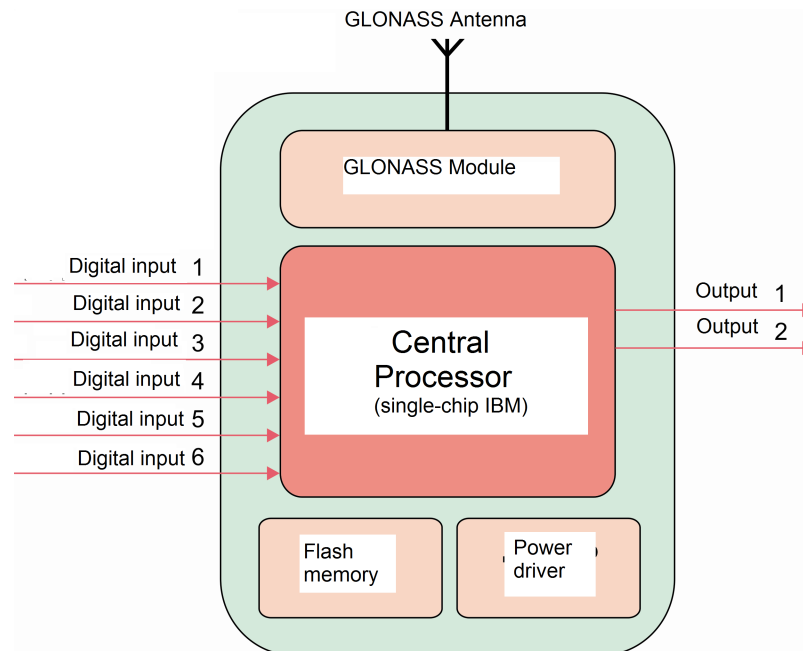


Fig. 1 – Functional Diagram of “AvtoGRAF” System

The GLONASS module with an external active antenna receives coded signals from the satellites of the GLONASS system and defines the geographic coordinates of the receiver location, as well as the exact time, speed and direction of movement. The received data are output from the module to the CPU, the core of the “AvtoGRAF” controller connecting all the components of the system and ensuring their interaction according to its program. In the developed system the assessment of the dynamic object condition is solved with the neural network technology taking in account the mechanism of information receiving, storing and processing.

A device receiving signals of navigation satellites is installed on the vehicle board, and the appropriate program – in the control room. The device on the vehicle board collects information on its location with a given period or by analyzing the nature of the vehicle motion travel route records, saving considerable amount of data transmitted. The device can store the route within several years.

When testing technologies and machines, the timing is quite labor-intensive activity. A particular problem is to obtain data on traffic speeds and motion path of process machines, as well as data on product transportation distances and speeds of vehicles. With the development of information communication technology the process information during testing of machines for fodder production can be collected using developed GPS positioning systems [9].

The system is based on the fact that a computer program based on the Pocket PC ASUS My Pal A 632 communicates with four stationary satellites and accurately records a position of the machine at the site. The computer communicates with the satellite after a certain period of time, each time records its location, that allows to obtain the following parameters of machines:

- average speed;
- travel time;
- travel distance;
- time and stop period.

The advantage of this system is that the timing process can be performed by one person, including a driver of the machine.

The system has the integrated adder unit, which measures the entire travel of the equipment for a given time period. The program has a large number of different options, including visualization of process machine motion pattern.

The system operation was tested in CJSC Shushary during silage and hay gathering. The forage harvesters and vehicles operation was recorded. For the data analysis and processing the results were transferred from the handheld to a desktop computer, where they were processed using MS Excel.

Based on the experience of GPS + ASUS My Pal A 632 application for collecting the information on process and industrial machines operation it can be concluded that the developed system allows to determine the basic parameters of the tested equipment with significant reduction of timing labor costs.

As an example, fig. 2 presents the information on the daily run and fuel consumption of the MT3-1221 tractor obtained by using GLONASS / GPS satellite navigation system and sensors installed on the tractor [14].

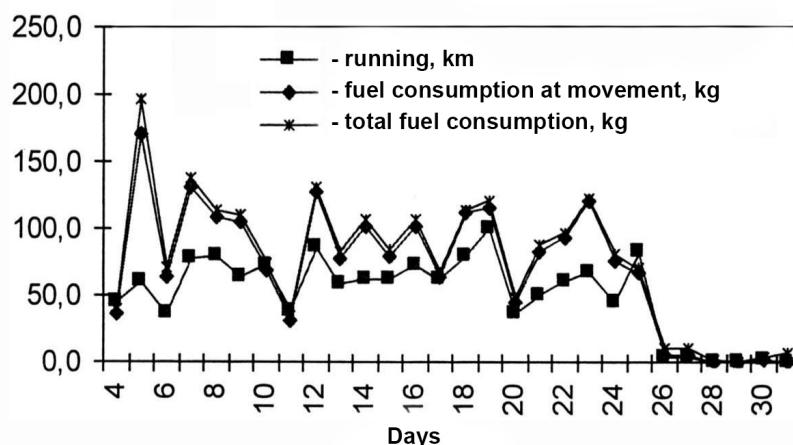


Fig. 2 - Daily run and fuel consumption of the MT3 tractor

Table 1 shows the overall performance of the tractor running and fuel consumption.

Table 1 – Indicators of running and fuel consumption per month (total)

No.	Indicator	Indicator value
1.	Total running, km	679.5
2.	Total fuel consumption, kg	1100.1
3.	Fuel consumption at tractor movement, kg	1020
4.	Fuel consumption in a parking lot, kg	792

The developed system can be used to determine such parameters as engine load, idle time, a period of performing technological operations and other indicators assessed when testing agricultural machinery.

When determining the parameters of comparative tests of new agricultural equipment it is necessary to determine the fuel consumption, labor intensity and time required for maintenance, performance and other indicators. For these purposes the ИИС-76 information-measuring system was developed, the main practical purpose of which is automatic on-line receipt of accurate data on energy and operational and process performances of the mobile agricultural equipment [11]. ИИС-76 includes (Fig. 3): devices of conversion, receive-transmit, processing and registration, a global localization system receiver. Matching module and conversion device ensure operation of primary transducers for speed measurement (the GPS and GLONASS receiver) of draft force, moment on PTO shaft, rotation of the driving wheels and PTO shaft, engine oil temperature, coolant and fuel. ИИС-76 operation principle: signals received from the primary transducers are preprocessed (multiplication, noise filtering, etc.) and digitized in the conversion device. In RBM is an accumulation of data, display them on the screen and the calculation of the required parameters. The processing and recording unit accumulates data, displays them on the screen and calculates the required parameters. Then the receiving transmit device provides the reception and transmission of digital information via the mobile communication channel (GPS-modem) to the stationary control path within a radius of 60 km/h from the tested object. Any mobile IBM can be used as the processing and recording unit. The main requirement is the availability of the serial port operating under USB or RS232 protocol, and the control program. A personal computer running the operating system Windows is the best for the tests purpose. Based on the test results the system provides high accuracy of indicators recording by eliminating the factors of the subjective nature.

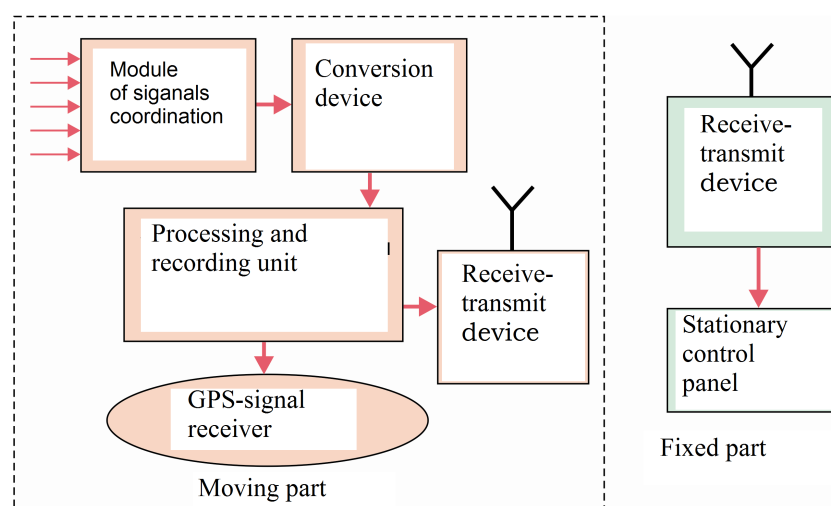


Fig. 3 – ИИС-76 System Structure

The performed tests showed that the system is operable both in laboratory and field conditions. Data transfer between movable and stationary parts of the system was carried out without failure. The connection between GSM-modems was stable at a distance of 60 km.

In laboratory tests, calibration and determination of calibration errors of the CA3 tensometer link was carried out at loading up to 30 kN. The load generated during graduation of the tensometer link was determined by the ДОСМ 3-3 standard dynamometer [12]. Measurement and calculation results are shown in Table 2.

Table – Calibration results of the CA3 tensometer link

Equipment readings, B							Average value, B	Interpolation function, B
•Force, kH	loading	loading	loading	unloading	loading	unloading		
0	-0.000903	-0.031916	0.000373	-0.010696	-0.000288	0.000296	-0.007189	-0.022078
3	0.608084	0.641316	0.652236	0.6594	0.64963	0.649388	0.643342	0.641439
6	1.304166	1.266601	1.268907	1.285208	1.307849	1.297835	1.288428	1.304956
9	1.957282	1.918933	1.963549	1.991619	1.921904	1.934572	1.947976	1.968474
12	2.568658	2.646646	2.63703	2.607605	2.633562	2.626304	2.619968	2.631991
15	3.279700	3.316385	3.297688	3.329647	3.298384	3.319356	3.30686	3.295508
18	3.916385	3.985565	3.96214	3.924195	3.968219	3.948703	3.950868	3.959026
21	4.666179	4.640974	4.66951	4.665345	4.674164	4.658624	4.662466	4.622543
24	5.286549	5.308275	5.281825	5.311359	5.296822	5.309872	5.299117	5.28606
27	5.931578	5.9627	5.958195	5.982765	5.96577	5.967381	5.961398	5.949578
30	6.593823	6.593823	6.509496	6.509496	6.628753	6.628753	6.577358	6.613095

The results of performed calculations of parameters according to GOST R 52777-2007 were the following:

standard deviation from calibration characteristic, kN $\delta = 2,53 \cdot 10^{-2}$

basic absolute error of calibration, kN $\alpha = 9,049 \cdot 10$

basic given error of calibration, % $\lambda = 1,37$

Nominal static coefficient of transform function $k = 4.54$, kN/B.

Calibration of distance and wheel revolutions sensors was carried out in the area of 100 m long at three-speed modes. The results of the calibration are shown in Table 3.

Table 3 – Results of calibration of distance and wheel revolutions sensors

№.		Coefficients, m/pulse				
		distance sensor	front left wheel	front right wheel	rear left wheel	rear right wheel
	1	0.086095966	1.12139297	1.12612998	1.10417402	0.88965082
	1	0.086105439	1.12193716	1.12593467	1.10456903	0.88944967
	2	0.086113296	1.12201935	1.12639613	1.10423429	0.88976324
	2	0.086109432	1.12137968	1.12601379	1.10404134	0.88953984
	3	0.086119564	1.12096913	1.12627819	1.10436974	0.88980131
	3	0.086114236	1.12139685	1.12591368	1.10415496	0.88949657
Average value		0.086109706	1.12151586	1.12611107	1.10425724	0.88965691

Calculations and measurements made in accordance with GOST 8.207-76 showed that the relative error of distance and wheel revolutions measurements does not exceed 0.1%. During tests it was noted the ease to mount the system on the tested machine, obtaining measurement results in real time mode and the ability to process and store large information content.

An analysis of global trends shows that modern information technologies allow developing universal means of measuring operation parameters machine and tractor units and perform their continuous monitoring at significant distance from the tested object [13].

Practical implementation of continuous monitoring allows the collection of machine and tractor units (assembly) operation parameters to evaluate its technical condition during operation. The schematic of similar system is shown in Fig. 4. Simultaneously several complexes of information collection can be applied which data are forwarded to the server. Internet is used as the communication channel.

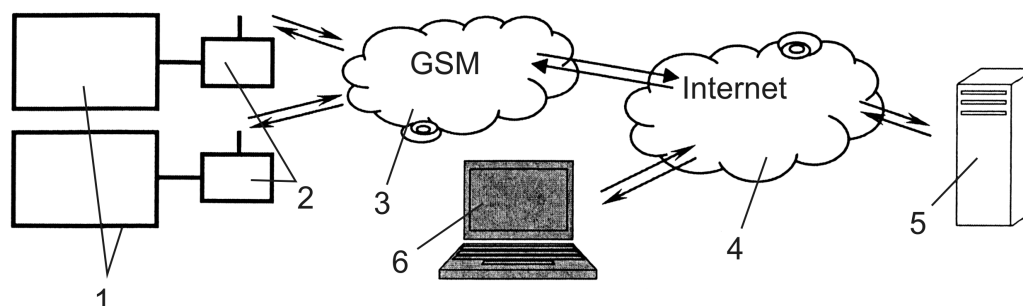


Fig.4 – Schematic of Remote Control Complex of machine and tractor units (assembly) operation parameters:

- 1 – object of study with primary converters;
 2 – GPRS-modem; 3 – GSM network; 4 – Internet; 5 – server;
 6 – remote control mobile station

The server is connected to the Internet via the dedicated channel, which allows online control over stations collecting the MTA operation parameters, which locate at the site of study.

To reduce the traffic between the work station and the server the optimal time and synchronization frequency settings shall be determined, and a part of calculation shall be transferred to the station. The server receives partially processed and packed data. The server program collects data from several work stations, additionally processes, archives and provides remote clients with the access to this information in a form convenient for them. Such complex of the remote control can be used wherever a network GSM is located.

The analysis shows that the use of GSM-modules allows the development of systems for obtaining information on current, shift and seasonal irrigation flow, performance, operating hours of running modes and failures of equipment, i.e. indicators, which are determined during the machines tests. The method of units yield rating on the basis of satellite monitoring is under developing. The method is based on the certification of fields, equipment of machines and tractors assembly with additional sensors which allow recording the exact times of farm machinery transfer in different positions. It is indicatively that, for these purposes the on-board electronics installed by the manufacturer of power unit can be used [14].

The use of such systems allows considering the operators physiological fatigue, its impact on performance and more reliably and comprehensively evaluate the performance of complex human-machine systems under actual operation conditions.

The wide computerization of modern agricultural technology contributes to the development of the field testing technology of agricultural machinery. Thus a system of TELEMATICS machine remote control with a special module with SIM-card continuously reads data on the machine location, engine parameters, production rate, fuel consumption, crop yield. The system memory stores up to 160 parameters which every 5 min. are forwarded via the mobile Internet to the server of data processing [15].

The methods of remote land sensing are successfully developed to determine the area and assess the condition of agricultural land, crop forecasting, relevance and quality of agricultural activities and other trends which can be used to improve the reliability of machines and technologies test results.

Conclusions

In conclusion, it should be noted that the efforts of the machines testing system, research companies are focused on the development of a test methodology which enables high reliability in determining the effectiveness of process and design solutions which significantly improve or create new consumer properties of machines, provide higher efficiency compared to analogues. Such test results should be the basis of technical and technological modernization of machine and tractor fleet of the country. One of such trends allowing to improve the accuracy of the tests results, bring them closer to the conditions of actual operation is the use of modern navigation systems and mobile communication for receipt, transmission and processing of experimental data under the special algorithms which allows to provide the agricultural producers with justified recommendations on technical and technological modernization of agricultural industry. For this it is required to develop an integrated system of program, organizational and technical, and methodological measures aimed at the development of methodological and technical basis ensuring the development of modern technologies for agricultural machinery testing.

References

1. GOST R 52777-2007. Agricultural Machinery. Methods of Energy Evaluation.
2. Agricultural Machinery. – 2012. – No. 10. – Pp. 59.
3. Agricultural Machinery of Agricultural Company Shatskaya is equipped with GLONASS/GPS-receiver with built-in Megaphone SIM-cards. - Agricultural Machinery. – 2012. – No. 6. – Pp. 27.
4. Testing of Agricultural Machinery – the main task of DLG testing. Profi International. Tractors and Farm Machinery. – 2011. – No 11. – Pp. 28-29.
5. www.telemetrie-word, TMS. Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg. Pp. 1-64.
6. Big brother is watching//Topagrar. 2012. No. 2 P. 132-136.
7. N.A. Petrishchev. The use of telemetry information on-board systems for monitoring of the technical conditions of tractors and automotive agricultural machines // Agricultural Machinery: Maintenance and Repair. – 2012. – No. 11. – Pp. 38-45.
8. I. Bolodurina, V. Reshetnikov. Improving the accuracy of ground-space monitoring in the GLONASS system / Information Resources of Russia. – 2012. – No. 5. – Pp. 27-29.
9. A.M. Valge, E.V. Timofeev. Experience of using the GPS global positioning system for timing of the technical means during laying-in of fodder / In the book: Technology and Techniques of Mechanized Production of Crops and Livestock Products: Collection of scientific papers / GNU SZNIIMESKH of the Russian Agricultural Academy. – Rev. 81. - Saint-Petersburg, 2009. – Pp. 61-66.

10. Valge A.M., Papushin E.A. Evaluation of performance of machine and tractor units according to the GLONASS / GPS satellite navigation system. Energy supply and efficiency in agriculture. Proceedings of the 9th International Scientific Conference (21-22 May 2014, Moscow, GNU VIESKH). Part 5: Information and Communication Technologies and Nanotechnologies. Moscow: GNU VIESKH. Pp. 132-136.

11. V.E. Tarkivsky Express assessment of agricultural machines resource saving indicators // Machinery and equipment for rural area. – 2011. – No. 6. – Pp. 39-41.

12. Carrying out research and development of a system for express-evaluation of high-tech agricultural machinery complexes by resource-saving criteria: research report / Novokubansk branch of FGNU "Rosinformagrotekh"; chief scientist: Tarkivsky V.E.; researchers: Fedorenko V.F., Tabashnikov A.T., Buklagin D.S. [et al.] 2009. 119 pp.

13. A.P. Inshakov, O.F. Kornaukhov, A.F. Filin The method of establishing the measuring-computing complex for MTA testing // Tractors and farm machinery. – 2012. – No 10. – Pp. 14-15.

14. P.A. Vashlanov, D.A. Petrovsky Platform for performing and analyzing ONLINE field tests // Agrarian Mechanic. – 2013.–No. 9.– Pp. 10–11, 27.

15. Electronic solutions for CLAAS forage harvesters // Machinery and equipment for rural area. – 2013. – No. 4. – Pp. 14-16.

References

1. GOST R 52777-2007. Tehnika sel'skohozjajstvennaja. Metody jenergeticheskoj ocenki.

2. Sel'skohozjajstvennaja tehnika. – 2012. – № 10. – S. 59.

3. Sel'hoztehnika «Agrofirmy «Shackaja» osnashhena GLONASS/GPS-priemnikami so vstroennymi SIM-kartami «Megafona». – Sel'skohozjajstvennaja tehnika. – 2012. – № 6. – S. 27.

4. Ispytanija sel'skohozjajstvennoj tehniki – osnovnaja zadacha ispytanj DLG. Profi International. Tractors and Farm Machinery. – 2011. – № 11. – R. 28-29.

5. www.telemetrie-word, TMS. Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg. S. 1-64

6. Big brother is watching//Topagrar. 2012. #2 S. 132-136.

7. Petrishhev N.A. Primenenie telemetricheskikh informacionnyh bortovyh sistem dlja kontrolja tehničeskogo sostojanija traktorov i samohodnyh sel'skohozjajstvennyh mashin // Sel'skohozjajstvennaja tehnika: obsluzhivanie i remont. – 2012. – № 11. – S. 38-45.

8. Bolodurina I., Reshetnikov V. Povyshenie tochnosti nazemno-kosmicheskogo monitoringa v sisteme GLONASS / Informacionnye resursy Rossii. – 2012. – № 5. – S. 27-29.

9. Valge A.M., Timofeev E.V. Opyt primeneniya global'noj sistemy pozicionirovaniya GPS dlja hronometrazha raboty tehničeskikh sredstv pri zagotovke kormov iz trav / V kn.: Tehnologii i tehničeskije sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva: Sb. nauch. tr. / GNU SZNIIMJeSH Rossel'hoz akademii. – Vyp. 81. – S-Pb., 2009. – S. 61-66.

10. Valge A.M., Papushin Je.A. Ocenka pokazatelej raboty mashinno-traktornyh agregatov po dannym sputnikovoj navigacionnoj sistemy GLONASS/GPS. Jenergoobespechenie i jenergosnabzhenie v sel'skom hozjajstve. Trudy 9-oj Mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoi konferencii (21-22 maja 2014 goda, g. Moskva, GNU VIJeSH). Chast' 5. Infokommunikacionnye tehnologii i nanotehnologii. M.: GNU VIJeSH.-S. 132-136.

11. Tarkivskij V.E. Jekspress-ocenka pokazatelej resursosberezhenija sel'skohozjajstvennyh mashin // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2011. – № 6. – S. 39-41.

12. Provesti issledovanie i razrabotat' sistemu dlja jekspress-ocenki po formirovaniju vysokotehnologichnyh kompleksov sel'skohozjajstvennoj tehniki po kriterijam resursosberezhenija: otchet o NIR/ Novokubanskij filial FGNU «Rosinformagroteh»; ruk. Tarkivskij V.E.; ispoln. Fedorenko V.F., Tabashnikov A.T., Buklagin D.S. [i dr.]. 2009.-119 s.

13. Inshakov A.P., Kornauhov O.F., Filin A.F. Metod postroeniya izmeritel'no-vychislitel'nogo kompleksa dlja ispytaniya MTA // Traktory i sel'hozmashiny. – 2012. – № 10. – S. 14-15.

14. Vashlanov P.A., Petrovskij D.A. Platforma dlja provedeniya i analiza polevyh ispytanj ONLINE//Sel'skij mehanizator. – 2013.–№ 9.–S. 10–11, 27.

15. Jelektronnye reshenija na kormouborochnykh kombajnah firmy CLAAS//Tehnika i oborudovanie dlja sela.– 2013. – № 4. – S.14-16.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.112

Василенков В.Ф.¹, Дёмина О.Н.², Аксёнов Я.А.³¹Доктор технических наук, ²кандидат технических наук, ³аспирант
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ПОСТОЯННОЙ ВОДООТДАЧЕ****Аннотация**

В статье предложена модель, которая позволяет получить достоверную информацию об изменении уровня грунтовых вод и предложить обоснование интенсивности водных мелиораций агроландшафтов, оптимизации расчётов сельскохозяйственного дренажа и корректировки управления водным режимом сельскохозяйственных угодий. Схематично представлены изменения в системе грунтовые воды - внешняя среда за счет взаимодействия двух обобщенных кинетических единиц - грунтового потока и осушенной зоны. Схематизация отека грунтовых вод с водосбора позволяет наглядно прийти к уравнению баланса. Дана методика и пример определения параметров модели изменения уровня грунтовых вод. Согласие результатов расчёта и эксперимента даёт все основы для практического использования модели.

Ключевые слова: уровень грунтовых вод, коэффициент водоотдачи, осушенная зона.

Vasilenkov V.F.¹, Demina O.N.², Aksyonov Y.A.³¹PhD in Engineering, ²PhD in Engineering, ³postgraduate student
FSBEI HE Bryansk State Agrarian University**MODELLING OF CHANGE OF LEVEL OF GROUND WATERS AT CONTINUOUS WATER RETURN****Abstract**

There is proposed a model that allows you to obtain reliable information on the changes in the groundwater level and offer justification for the intensification of water reclamation of agricultural landscapes, optimizing agricultural drainage calculations and adjustments manage of the water regime of agricultural land. It is schematically shown the changes in the system of groundwater - the external environment due to the interaction of two generalized kinetic units - ground flow and drainage area. Schematization of the swelling groundwater from catchment allows visually to come to the equation of balance. There is given the technique and an example of determining of the parameters of the model of groundwater level changes. The agreement of results of calculation and experiment gives all the basics for the practical use of the model.

Keywords: groundwater level, water loss rate, drained area.

Основной задачей в вопросах устойчивого развития агропромышленного комплекса является достижение нормативной урожайности и высокого качества продукции, значительной экономии трудовых, энергетических ресурсов и охрана окружающей среды в Брянской области [1-3], в том числе и за счёт решения проблем обоснования необходимости и интенсивности водных мелиораций агроландшафтов, оптимизации расчётов сельскохозяйственного дренажа и управления водным режимом сельскохозяйственных угодий. Вышеуказанные проблемы возможно проработать, осуществив моделирование изменения уровня грунтовых вод: сложных взаимоотношений водного тела, системы водосбора и окружающей среды [4].

Предположим, что все изменения в системе грунтовые воды - внешняя среда происходят в результате взаимодействия только двух обобщенных кинетических единиц - грунтового потока и осушенной зоны [5]:

$$Z + H \rightarrow Z + H \quad (1.1)$$

где Z , H - толщина осушенной зоны и грунтового потока в створе наблюдательной скважины в см.

Кривые уровней вдоль плановой линии тока на водосборе в разные моменты времени гипотетически продолжают до точки пересечения (точка "О"), через которую проводится горизонтальная линия 0-0 - ось отсчета мощности осушенной зоны "Z" (см. рисунок 1). Положительное направление вертикальной оси OZ принято вниз. Используя уравнение баланса и закон Дарси, принимая поверхность грунтовых вод плоской, скорость изменения уровней по схеме (рис. 1) можно описать уравнением:

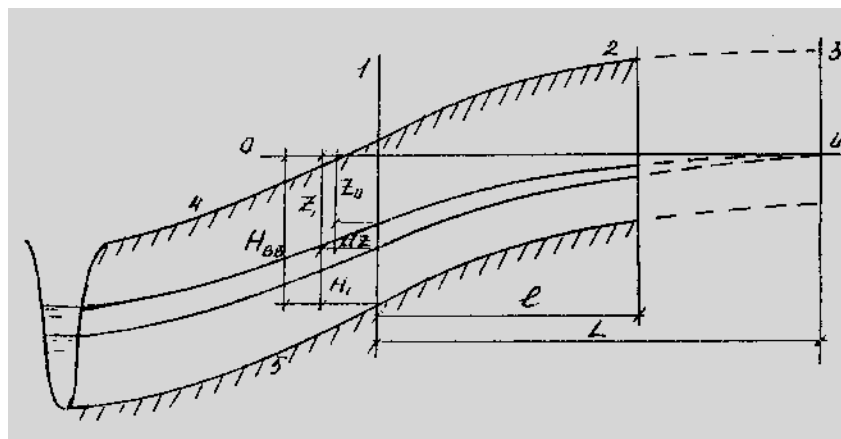


Рис. 1 – Схематизация отека грунтовых вод с водосбора
1 - створ наблюдательной скважины; 2- створ границы водосбора (водораздел).

$$\varphi \delta \text{ в } \ell \frac{dZ}{dt} = \frac{kZH\text{в}}{L} \quad (1.2.)$$

где φ - характеризует форму кривой депрессии, находится из пропорции;

δ - коэффициент водоотдачи; ℓ - расстояние по линии тока от створа наблюдательной скважины до водораздела (см. рис. 1);

L - расстояние от створа наблюдательной скважины до гипотетической точки пересечения депрессионных кривых (см. рис. 1);

Z/L - изменяющийся во времени уклон поверхности грунтового потока;

k - коэффициент фильтрации грунта; в - ширина потока;

$$\text{Обозначим } \mu_1 = \frac{k}{\varphi \cdot \delta \cdot \ell \cdot L} \text{ тогда } \frac{dZ}{dt} = \mu_1 (H_{BB} - Z)Z \quad (1.3)$$

Интегрируя уравнение (1.3) при начальных значениях $t=0, Z=Z_0$ получаем:

$$Z = \frac{H_{BB}}{1 + \frac{H_{BB} - Z_0}{Z_0} \cdot e^{-\mu_1 H_{BB} t}} \quad (1.4)$$

Полученное выражение (1.4), описывающее закон снижения уровня грунтовых вод во времени, дает кинетические кривые близкие по форме S – образным

кривым. Для экспериментальной проверки математической модели использованы измерения, проведенные в наблюдательных скважинах метеостанций Сухиничи Калужской области, Чернь и Узловая Тульской области, Рязск Рязанской области и др. С точки зрения кинетики изменения уровней экспериментальных данных, полученных разными метеостанциями, практически не отличаются.

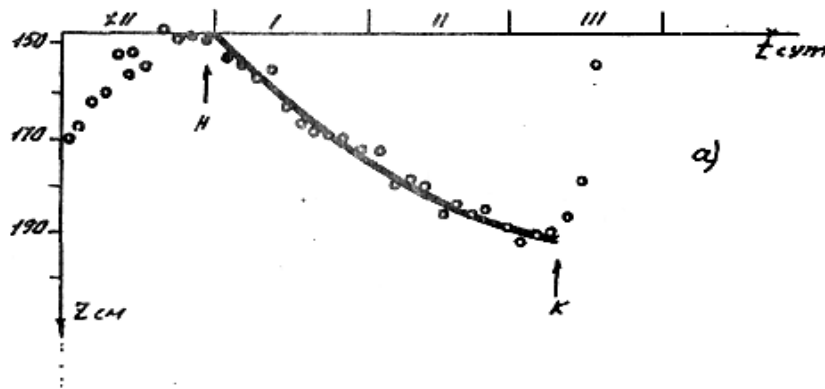


Рис. 1 – Депрессионная кривая, МС Рязск, скв. 142, 1990 г.

На S – образных кинетических кривых можно выделить четыре периода: начальный и период инерции, период регулярного снижения уровней, равновесие или стационарная фаза и период подъема уровней. Деление кинетической кривой не означает, что предполагаются какие-то особые законы движения воды в каждый период. В начальном периоде происходит перестройка в системе, вызванная сменой направления движения воды от подъема к спаду. Период регулярного снижения уровней можно охарактеризовать как протекание последовательных переходов грунтовых вод в капиллярную кайму и от капиллярной каймы к осушенному грунту с влажностью, близкой к ППВ, причем в установившемся режиме. Прогрессивно возрастающее замедление снижения уровня приводит к стабилизации уровня на определенной отметке. Однако, при анализе экспериментальных данных выявлен факт установления фазы стационарного состояния на разных по годам отметках, который не объясняется наличием водообмена между водоносными пластами. По-видимому, существуют другие причины, лимитирующие снижение уровня, в зависимости от меняющихся ежегодно условий.

Для определения параметров модели на основании полученных в эксперименте данных целесообразно уравнение (1.4) преобразовать, приведя к удобному для анализа линейному виду. Разделим левую и правую части уравнения (1.3) на Z получаем:

$$\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} = \frac{d \ln Z}{dt} = \mu_1 (H_{BB} - Z) \quad (1.5)$$

Из уравнения (1.5) следует, что относительная (логарифмическая) скорость снижения уровня

$$\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} = \frac{d \ln Z}{dt}$$

в отличие от абсолютной dZ/dt является линейной убывающей функцией все увеличивающейся в процессе стекания грунтового потока мощности осушенной зоны. Это значит, что S – образные кривые описываемые уравнением (1.4)

могут быть преобразованы в прямую линию при представлении результатов в координатах $\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} \longrightarrow Z$. При

экстраполяции такой прямой до пересечения ее с осью ординат, где $Z=0$ отсекается отрезок численно равный $\mu_1 H_{BB}$; при экстраполяции прямой до пересечения с осью абсцисс, где $\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} = 0$, отсекается отрезок равный H_{BB} (рис. 2).

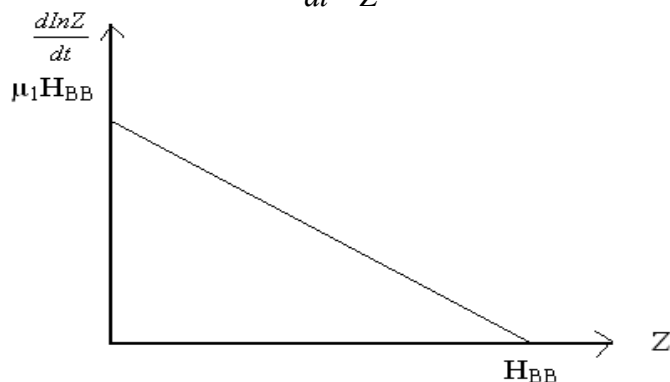


Рис. 2 – Изменение логарифмической скорости снижения уровней.

Если полученная на основании данных эксперимента зависимость

$$\frac{d \ln Z}{dt} = f(Z)$$

линейна, то это значит, что процесс снижения уровней от начала до конца действительно зависит только от тех свойств, которые при построении модели рассматривались как существенные и характеризуется константами μ_1 ; H_{BB} . Это свидетельствует также о том, что условия стекания влияющие на величину параметров кинетики, за весь период стекания существенно не менялись.

Необходимую для определения параметров $\mu_1 H_{BB}$ и H_{BB} зависимость

$$\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} = f(Z)$$

можно получить графически, продифференцировав депрессионную кривую, отражающую

изменение уровней во времени.

Необходимую для определения параметров $\mu_1 H_{BB}$ и H_{BB} зависимость

$$\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} = f(Z)$$

можно получить графически продифференцировав депрессионную кривую, отражающую изменение уровней во времени. Для этого вместо значений мгновенной скорости $\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z}$ или $\frac{d \ln Z}{dt}$ приходится рассчитывать величину средней (для какого-то конечного промежутка времени) скорости

$$\frac{\Delta Z}{\Delta t} \cdot \frac{1}{Z} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta \ln Z}{\Delta t}$$

Переход от бесконечно малых к конечным величинам в ряде случаев сопровождается значительным искажением реально существующей зависимости. Искажение исследуемой зависимости бывает тем сильнее, чем больше интервал времени между определениями положения уровня.

Преобразовав выражение (1.4.) подстановкой Z_t и $Z_{t+\Delta t}$, получим:

$$\frac{Z_{t+\Delta t}}{Z_t} = \frac{1}{e^{-\mu_1 H_{BB} \Delta t} + \frac{Z}{H_{BB}} (1 - e^{-\mu_1 H_{BB} \Delta t})} \quad \text{или} \quad \varphi = 1 - \frac{Z_t}{Z_{t+\Delta t}} = (1 - e^{-\mu_1 H_{BB} \Delta t}) \cdot \left(1 + \frac{Z}{H_{BB}}\right) \quad (1.6)$$

Отсюда, зная величину Δt , можно найти значения параметров $\mu_1 H_{BB}$ и H_{BB} . Определение параметров $\mu_1 H_{BB}$ и H_{BB} таким способом не накладывает никаких ограничений на величину интервала времени между измерениями уровня, требуется лишь, чтобы он был одинаковым на протяжении всего периода измерений. Если Δt будет постоянно, то уравнение является линейным. Следовательно, при представлении экспериментальных данных в виде зависимости величины φ от Z прямая на оси абсцисс будет отсекает отрезок, численно равный H_{BB} , а на оси ординат – отрезок $(1 - e^{-\mu_1 H_{BB} \Delta t})$ (см. рис.3).

Примеры определения параметров $\mu_1 H_{BB}$; H_{BB} ; Z_0 по экспериментальным данным приведены на рис. 3. Чтобы исключить влияние испарения и инфильтрационного питания, для расчета взяты зимние безоттепельные периоды.

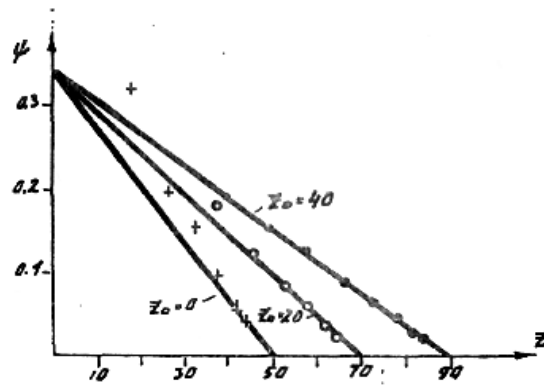


Рис. 3 – Зависимость $\varphi = \frac{Z_t + \Delta t - Z_t}{Z_t + \Delta_t}$ от Z . Линейаризация, депрессионной кривой при $\Delta t = 10$ сут, $Z_0 = 40$ см, $\varphi = 0.34$.

Достигнуть большей мощности осушенного слоя $H_{вв}$ при одном и том же $H_{вв}$ можно оптимизацией тех условий стекания, от которых зависит величина коэффициента полноты осушения. Величина коэффициента полноты осушения является наиболее адекватным критерием степени удаленности условий стекания грунтовых вод от оптимума.

Согласие результатов расчёта и эксперимента даёт все основы для практического использования модели. Предложенная модель позволяет получить достоверную информацию об изменении уровня грунтовых вод и предлагать интенсивность водных мелиораций агроландшафтов, оптимизировать расчёты сельскохозяйственного дренажа и управлять водным режимом сельскохозяйственных угодий.

Литература

1. Бельченко С.А. Развитие АПК Брянской области / Бельченко С.А., Белоус И.Н., Наумова М.П. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2-1 (2015). С. 32-36.
2. Концепция «Обеспечение устойчивого развития агропромышленного производства в условиях техногенеза» / Романенко Г.А., Фисинин В.И., Иванов А.Л., Жученко А.А., Кормановский Л.П., Сизенко Е.И., Ушачев И.Г. и др. РАСХН. – М., 2003. – 66 с.
3. Белоус, Н. М. Озимые зерновые культуры: биология и технологии возделывания: монография / Н. М. Белоус, В. Е. Ториков, Н. С. Шпилёв, О. В. Мельникова, Г. П. Малявко, М. П. Наумова, О. М. Нестеренко, О. М. Михайлов. – Брянск, 2010. – 138 с.
4. Харкевич Л.П. Воздействие агротехнических и агрохимических мероприятий на урожайность многолетних трав и плодородие почвы / Харкевич Л.П., Белоус Н.М., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф. Плодородие. 2013. № 4 (73). С. 25-27.
5. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Гидрометеиздат, 1965.

References

1. Belchenko S.A. Razvity agrarian and industrial complexes of Bryansk area / Belchenko C. And., Belous I.N., Naumova M.P. Bulletin of Bryansk state agricultural academy. 2015. No. 2-1 (2015). P. 32-36.
2. Concept "Providing a sustainable development of agro-industrial production in the conditions of a tekhnogenez" / Romanenko G. A., Fisinin V. I., Ivanov A.L., Zhuchenko A.A., Kormanovsky L.P., Sizenko E.I., Ushachev I.G., etc. Moscow, 2003.-66 pages.
3. Belous, N. M. Winter grain crops: biology and technologies of cultivation: monograph / N. M. Belous, V. E. Torikov, N. S. Shpilyov, O. V. Melnikova, G. P. Malyavko, M. P. Naumova, O. M. Nesterenko, O. M. Mikhaylov. – Bryansk, 2010. – 138 pages.
4. Harkevich L.P. Impact of agrotechnical and agrochemical actions on productivity of long-term herbs and fertility Soil / Harkevich L.P., Belous N. M., Smolsky E.V., Chesalin S.F. Fertility. 2013. No. 4 (73). Page 25-27.
5. Sort A.A. Doctrine bases about soil moisture. Gidrometeoizdat, 1965.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.140

Вержбовский Г.Б.¹, Жданов А.Г.²¹ORCID: 0000-0002-8412-2675, Доктор технических наук, ²Магистрант,

Ростовский государственный строительный университет

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АРМИРОВАННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С НЕЛИНЕЙНО УПРУГОЙ РАЗНОМОДУЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ

Аннотация

Предложена инженерная методика оценки несущей способности изгибаемых элементов несущих строительных конструкций с армированием и без, выполненных из полимерных композитных материалов. Представлены результаты численного эксперимента по оценке влияния на жесткость элемента нелинейной упругости и разномодульности матрицы композита.

Ключевые слова: полимерный композит, порошковый наполнитель, нелинейная упругость, арматура, численный эксперимент.

Verzhbovskiy G. B.¹, Zhdanov A. G.²¹ORCID: 0000-0002-1825-0097, PhD in Engineering, ²Undergraduate, Rostov State University of Civil Engineering

EVALUATION OF BEARING CAPACITY OF REINFORCED BENDING ELEMENTS MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL WITH NONLINEAR ELASTIC HETEROGENEOUS MATRIX

Abstract

Engineering methods of estimation of bearing capacity of flexible bearing elements of building structures with and without reinforcement, made of polymer composite materials is proposed. The results of a numerical experiment to assess the influence on the stiffness element for heterogeneous nonlinear elasticity matrix of the composite are presents.

Keywords: polymer composites, powdered filler, nonlinear elasticity, reinforcing bar, numerical experiment.

Появление в последнее время новых искусственных строительных материалов, особое место среди которых занимают порошковые композиты с полимерными матрицами, требует всестороннего изучения их физико-механических характеристик и корректного прогнозирования поведения изделий из них. Такие полимеры как полипропилен и полиэтилен, используемые в качестве связующего композитного материала (КМ), обладают рядом специфических свойств. Прежде всего – это различные модули упругости материала, учитываемые при его работе на сжатие, растяжение и изгиб, а также нелинейно упругая зависимость между напряжениями и деформациями сжатой зоны [1, 2].

Рассмотрим сплошной прямоугольный выполненный из КМ с полипропиленовой матрицей и наполнителем из древесной муки изгибаемый элемент, показанный на рисунке 1.

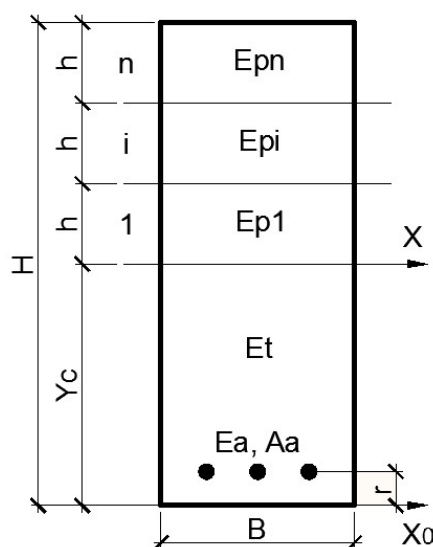


Рис. 1 – Расчетная модель изгибаемого элемента

Предположим, что сжатая зона располагается выше нейтральной плоскости. Обозначим модули упругости композиционного материала при растяжении и сжатии, а также модуль упругости арматуры как E_t , E_p и E_a соответственно. Принимая во внимание сведения, представленные в работе [1], будем считать, что при уровне напряжений в материале, не превосходящем его длительную прочность $E_t = const$, а E_p изменяется по нелинейному закону, описываемому алгебраическим полиномом третьей степени. Ставится задача определения приведенных геометрических характеристик элемента.

В рассматриваемом случае для получения результатов с заданной точностью разобьем сжатую зону поперечного сечения элемента на n участков одинаковой высоты с нумерацией, начинающейся от нейтральной плоскости. На верхней границе каждого участка определяется величина нормальных напряжений, возникающих в элементе от внешних воздействий. Далее по полученным значениям σ отыскиваются значения E_{pi} , вычисляются геометрические

характеристики сечения и производится уточнение положения нейтральной плоскости. Итерационный процесс сходится для всех реальных сочетаний материалов матрицы и наполнителя.

Запишем выражения, определяющие положение нейтральной плоскости (1) и величину приведенного к E_{pn} центрального осевого момента инерции (2),:

$$Y_c = \frac{H}{2n} \cdot \frac{n^2 k^2 E_t + 2n^2 \mu z (E_a - E_t) + (1-k) \sum_{i=1}^n E_{pi} [2nk + (1-k)(2i-1)]}{nkE_t + n\mu(E_a - E_t) + (1-k) \sum_{i=1}^n E_{pi}}, \quad (1)$$

$$E_{pn} I_x = \frac{BH^3}{3} \cdot \left\{ k^3 E_t + 3\mu(k-z)^2 (E_a - E_t) + \frac{(1-k)^3}{n^3} \sum_{i=1}^n [3i(i-1)+1] E_{pi} \right\}. \quad (2)$$

В последних формулах с целью сокращения письма использованы следующие подстановки:

$$Y_c = kH, \quad h = \frac{1-k}{n} H, \quad A_a = \mu BH, \quad r = zH.$$

Для поперечных сечений иной формы можно записать аналогичные выражения, однако они будут значительно сложнее и потребуют применения вычислительной техники. В связи с этим составлена программа для персонального компьютера, при помощи которой был выполнен численный эксперимент над несколькими видами изгибаемых элементов, выполненных из полимерного композитного материала. Рисунок 2 представляет стартовое окно программы для изделия, являющегося частью универсального набора элементов, предназначенного для замены деловой древесины в легкокаркасных и брусчатых малоэтажных зданиях. На указанный набор подана заявка на изобретение, в настоящее время проходящая экспертизу.

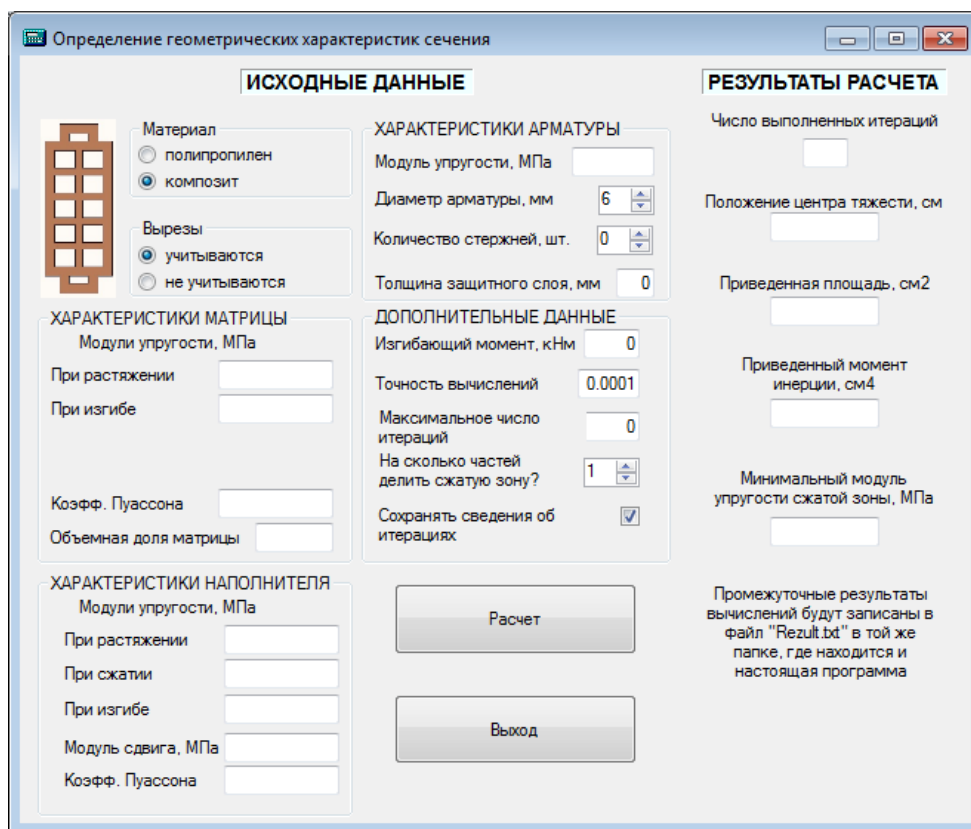


Рис. 2 – Стартовое окно программы

Особенностью программы является ее универсальность, позволяющая оценивать несущую способность как сплошных прямоугольных сечений, так и изделий с вырезами, выполненных из композитного материала, либо только из полимера.

Первый этап численного эксперимента заключался в определении оптимального числа частей, на которые необходимо разделить сжатую зону изгибаемого элемента с поперечным сечением в виде сплошного прямоугольника, полностью выполненного из полипропилена. При этом приемлемым для инженерных расчетов результатом считалось совпадение значений Y_c двух последовательных вычислений с точностью до целых миллиметров. Установлено, что разбиение сжатой зоны на пять частей оказывается достаточным, а решение сходится в среднем за семь итераций.

На следующем этапе оценивалось влияние учета вырезов в изделии на точность результатов. Для элемента, полностью выполненного из полипропилена, можно по-прежнему ограничиться разбиением сжатой зоны на пять частей. С учетом того, что доля матрицы в композитном материале составляет обычно не более 30%, было принято решение о сохранении подобного разбиения и при рассмотрении задачи об изгибе изделия из композита.

Физико-механические характеристики современных искусственных материалов зависят от многих факторов, в том числе и от свойств их составляющих. Безусловно, точные значения модулей упругости, пределов прочности и т.п. композитных материалов можно установить после проведения физических экспериментов. Тем не менее, существуют методики, позволяющие оценить эти характеристики еще на этапе создания материала. Одна из таких методик, учитывающая положения закона Гука и правило смеси, была предложена в [3].

Согласно ей, модуль упругости и коэффициент Пуассона КМ находятся по формулам:

$$E_{\Sigma} = \frac{9K_{\Sigma}G_{\Sigma}}{3K_{\Sigma} + G_{\Sigma}}, \quad \nu_{\Sigma} = \frac{3K_{\Sigma} - 2G_{\Sigma}}{2(3K_{\Sigma} + G_{\Sigma})}. \quad (3)$$

Входящие в правые части выражений (3) объемные модули материала представляются в виде

$$K_{\Sigma} = (K_1 K_2)^{1/2} \cdot \frac{m_1 K_1^{1/2} + m_2 K_2^{1/2} s^{1/2}}{m_1 K_2^{1/2} + m_2 K_1^{1/2} s^{1/2}}, \quad (4)$$

$$G_{\Sigma} = (G_1 G_2)^{1/2} \cdot \frac{m_1 G_1^{1/2} + m_2 G_2^{1/2} s^{1/2}}{m_1 G_2^{1/2} + m_2 G_1^{1/2} s^{1/2}}, \quad (5)$$

причем m_1 и m_2 – объемные доли матрицы и наполнителя соответственно ($m_1 + m_2 = 1$), а $s = E_1/E_2$.

Зависимости (3) – (5) использованы в компьютерной программе для определения несущей способности изделий из композитных материалов. В результате численного эксперимента установлена несущая способность показанного на рисунке 2 элемента без армирования, принятая за базовую при дальнейших расчетах.

Заключительная часть эксперимента была посвящена изучению влияния армирования на жесткость изделия. Конструктивные особенности его поперечного сечения ограничили верхний предел общей площади используемой арматуры одним процентом от площади нетто элемента. Предполагалось применение композитной арматуры периодического профиля, которую возможно вводить в расплав КМ во время экструзионного производства изделий. Расчеты показали, что таким образом жесткость можно увеличить на 6%.

Существенно лучшие результаты показал расчет балки двутаврового поперечного сечения (рисунок 3), возрастание жесткости которого в полтора раза произошло при проценте армирования 3%.

Численный эксперимент над армированными изгибаемыми элементами, выполненными из композитных материалов, доказал необходимость учета особенностей поведения матрицы для корректной оценки их прочностных и жесткостных свойств. Армирование несущих конструкций из полимерных КМ приводит к достаточно существенному возрастанию их несущей способности и способствует массовому внедрению новых материалов в малоэтажное домостроение. Предложенная инженерная методика является универсальной и может быть использована для расчета других аналогичных изделий.



Рис. 3 – Армированная балка перекрытия из композитного материала

Литература

1. Пилиповский П.И., Ярцев И.К. Полипропилен. Л: Химия, 1967, 316 с.
2. Ochsner Andreas and others. Mechanics and Properties of Composed Materials and Structures. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, - 2012. - 195 p.
3. Вержбовский Г. Б. Прогнозирование характеристик композитных материалов на основе свойств составляющих их частей // Наукоедение. - 2014. - №7. - С. 909-914.

References

1. Pilipovskij P.I., Jarcev I.K. Polipropilen. L: Himija, 1967, 316 s.
2. Ochsner Andreas and others. Mechanics and Properties of Composed Materials and Structures. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, - 2012. - 195 p.
3. Verzhbovskiy G. B. Prognozirovanie harakteristik kompozitnyh materialov na osnove svojstv sostavljajushhih ih chastej // Naukovedenie. - 2014. - №7. - S. 909-914.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.208

Власов А.И.¹, Маркелов В.В.², Сергеева Н.А.³, Зотьева Д.Е.⁴^{1,2}Кандидат технических наук, доцент,³ассистент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» ⁴студент,
Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана**РЕАЛИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB****Аннотация**

В работе проанализированы возможности методов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники. Приведена классификация инструментов системного анализа. Даны рекомендации по применению отдельных инструментов управления качеством на различных этапах жизненного цикла изделий электронной техники с использованием средств автоматизации. Основное внимание уделено реализации инструментов управления качеством в среде MatLab и табличном процессоре Excel.

Ключевые слова: системный анализ, инструменты управления качеством, визуальное моделирование, жизненный цикл, управление качеством, электронная аппаратура.

Vlasov A.I.¹, Markelov V.V.², Sergeeva N.A.³, Zotieva D.E.⁴^{1,2}PhD in Engineering, assistant of department "Design and Production Technology of the Electronic Equipment",⁴student, Bauman MSTU**IMPLEMENTATION OF QUALITY CONTROL VISUAL INSTRUMENTS IN MATLAB****Abstract**

In work possibilities of methods of the system analysis at quality management of products of electronic equipment are analysed. Classification of tools of the system analysis is given. Recommendations about use of separate instruments of quality management at various stages of life cycle of products of electronic equipment with use of an automation equipment are made. The main attention is paid to realization of instruments of quality management in the environment of MatLab and the tabular Excel processor.

Keywords: system analysis, instruments of quality management, visual modeling, life cycle, quality management, electronic equipment.

Введение

Основопологающим критерием жизнеспособности любого предприятия на рынке является качество его продукции. Без реализации сквозного контроля и управления качеством невозможно обеспечения высоких технико-экономических показателей деятельности предприятия [1]. Авторами в [2] приведена подробная классификация основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники (ИЭТ), проанализированы семь основных инструментов управления качеством (СИУК). В работах [3-7] основное внимание уделено автоматизации методов входного статистического контроля качества в среде MatLab. Особенности автоматизации СИУК ИЭТ в среде MatLab и табличном процессоре Excel будут проанализированы в данной статье.

Жизненный цикл изделия носит циклический характер в соответствии с циклом Деминга. При переходе от одного этапа жизненного цикла к последующему затраты на корректировку могут изменяться на порядок. В классической литературе такое изменение затрат получило название «правило 10-кратных затрат» [8-13].

Можно сформулировать основные задачи исследований как: исследование решений по формализации и автоматизации СИУК и формулировка рекомендаций по их применению в условиях синхронных технологий производства ИЭТ.

По итогам исследований даны рекомендации по использованию СИУК для автоматизированного решения задач управления качеством изделий электронной техники (ИЭТ) в среде MatLab и табличном процессоре Excel [2, 13].

1 Классификация инструментов контроля качества

Главный принцип управления качеством - в основе принятия решений должны быть только факты [14]. Поэтому сбор и обработка фактов – важнейший процесс управления качеством. Реализация этого процесса во многом определяется используемыми инструментами, поэтому именно их автоматизации уделяется наибольшее внимание. Понятие СИУК включает семь основных элементов (рисунок 1) [2, 9 - 11]:

- 1) контрольный листок;
- 2) гистограмма;
- 3) диаграмма разброса;
- 4) диаграмма Парето;
- 5) расслоение (стратификация);
- 6) причинно-следственная диаграмма;
- 7) контрольная карта.

Данные инструменты реализуют презентационный, а не управляющий слой. Основная их задача – мониторинг протекающего процесса (фиксация данных, хранение данных, обработка данных).

При развертывании системы контроля на первый план выходит вопрос их дальнейшей обработки, без использования развитых инструментов визуализации и аналитической обработки даже самые подробные наборы данных становятся бесполезными. Обработываемые данные можно классифицировать следующим образом:

- контроль параметров входных компонентов процесса;
- контроль и регулирование процесса;
- анализ отклонений от требований;
- контроль выходных показателей процесса.

Сбор данных должны быть организован исходя из требований их дальнейшей автоматизированной обработки:

- с учетом характеристик регламента (день недели, время и т.п.);
- с учетом характера источника (генератора) (оборудование, рабочий, партия используемых материалов и т. п.);
- с учетом вида формального представления (формат представления данных и вид документа, способ его регистрации).

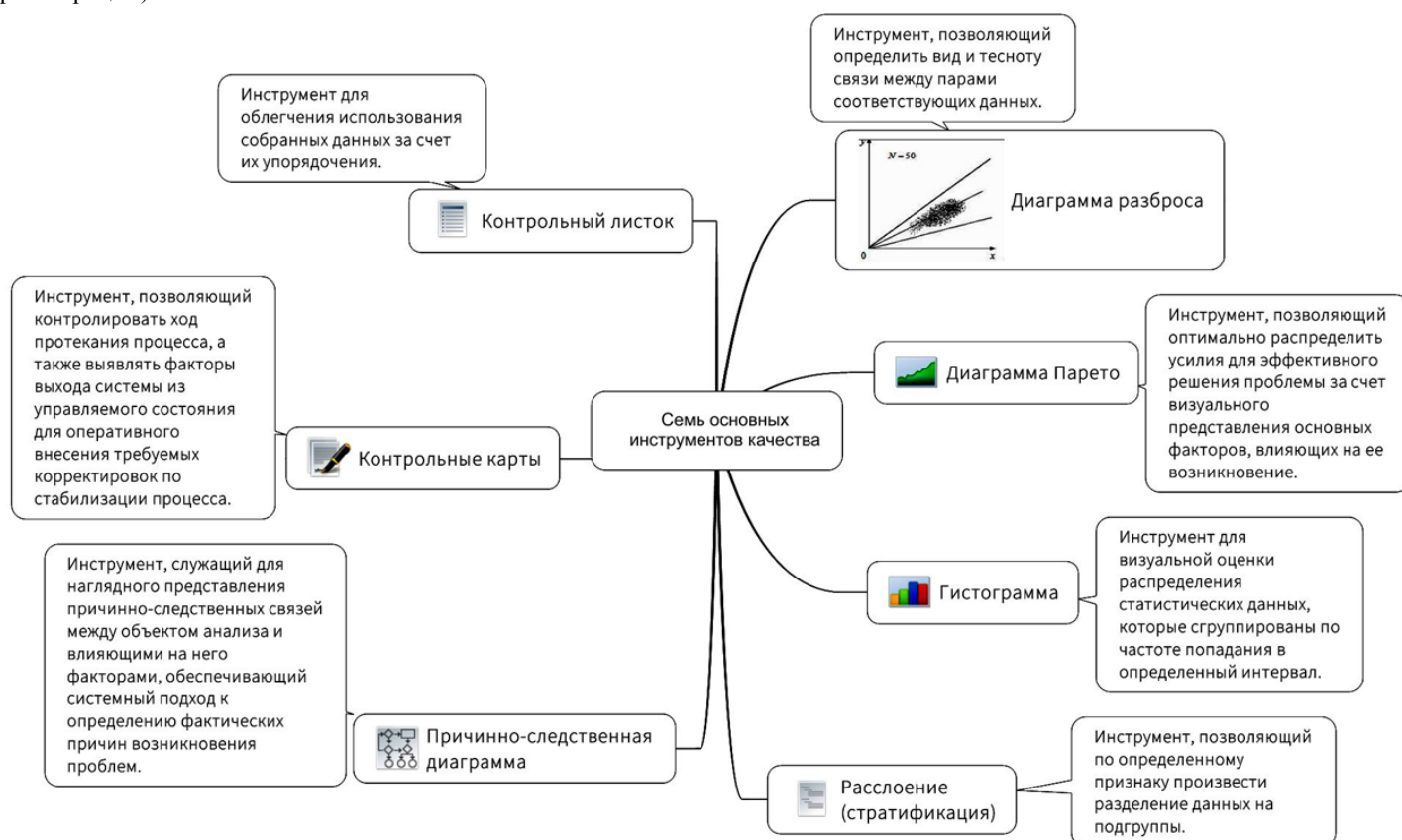


Рис. 1 – Семь основных инструментов контроля качества

Рассмотрим особенности регистрации и обработки фактов с использованием СИУК в условиях синхронных технологий и комплексной сквозной автоматизации подробнее.

2 Особенности реализации основных инструментов контроля качества в среде MATLAB

2.1 Контрольный листок

Контрольный листок – это инструмент для сбора данных и их последующей формализации. Контрольный листок – это бланк, на котором определенным образом упорядочены обрабатываемые данные (рисунок 2) [3-6].

Вид контроля	Тип контроля	Тип параметра	Параметр	Значение	Оценка
Производственный контроль	входной	качественный			
		количеств.			
		количеств.			
	операционный	качественный			
		количеств.			
		функциональный			
	приемочный	качественный			
		количеств.			
		функциональный			
Эксплуатационный контроль		качественный			
		количеств.			
		функциональный			

(а)

Контрольный листок изделия

Код изделия	к002	дата/время	05.2015
Цех	2	Участок	1
Рабочий	Ким	Контролер	Цой
Номер партии	01003	Номер	2

изделие	параметр	значение	оценка	штук в партии
Изделие к002	Сопротивление, Ом	180	критично	3
		185	недопустимо	7
		190	условно допустимо	42
		195	допустимо	130
		200	норма	655
		205	допустимо	116
		210	условно допустимо	40
		215	недопустимо	6
		220	критично	1
			итого:	1000

(б)

Рис. 2 – Общий вид документа "Контрольный листок формализации исходных данных" (а) и "Контрольный листок изделия" (б),

Контрольный листок является начальным этапом формализации при внедрении автоматизации процедур управления качеством. Он является неотъемлемым компонентом при начальном аудите и картировании бизнес процессов. В начале анализа определяют перечень и допустимые диапазоны значимых параметров компонентов по рассматриваемому изделию для каждого видов контролей (рис.2, а), а потом для каждого из параметров компонентов

составляют индивидуальные контрольные листки (рисунок 2, б). После проведения необходимых измерений данные заносятся в соответствующие графы контрольных листов, тем самым формируя исходный набор показателей для дальнейшего применения СИУК. Для автоматизированной обработки контрольных листов используются, как правило, возможности табличного процессора Excel.

2.2 Гистограмма

Гистограмма – это инструмент, позволяющий зрительно оценить закон распределения статистических данных [3-6]. Зафиксированные в контрольных листах результаты обеспечивают исходный набор данных, который в общем случае представляют совокупность дискретных значений случайной величины. Для визуализации данных такого типа часто используют полигоны (рисунок 3). В случае анализа экспериментального распределения случайной величины и проверки его, соответствует ли оно нормальному закону, строят кумулятивную кривую (рисунок 4) [4-7, 10].

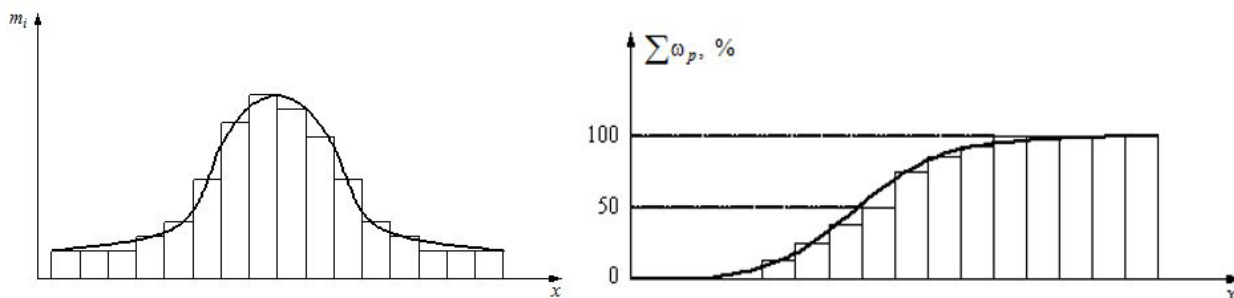
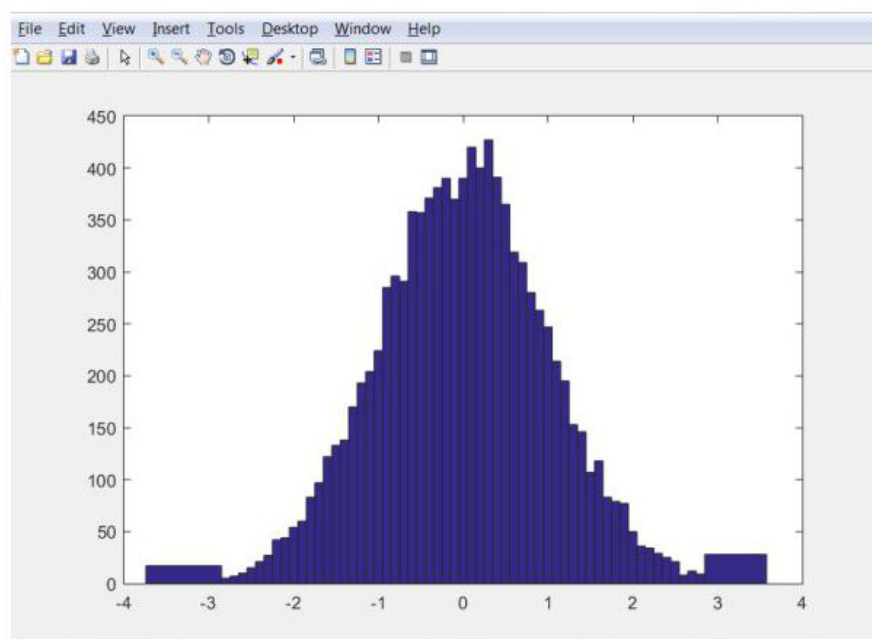


Рис. 3 – Общий вид гистограммы (а) и кумулятивной кривой (б)

По мере увеличения количества измерений уменьшается ширина класса и полигон превращается в кривую плотности вероятностей. Ограниченная полигоном и осью x площадь (если по оси m_i отложены относительные частоты) стремится к 1 [10].

На рисунке 4а представлен листинг программы построения гистограммы случайных чисел, распределенных по нормальному закону. Результатом выполнения скрипта является график, представленный на рисунке 4б.



а)

б)

Рис. 4 – Листинг построения гистограммы в среде MatLab (а) и гистограмма распределения, построенная в среде MatLab (б)

Для реализации указанных инструментов в среде MatLab можно использовать функцию hist(...) (рисунок 5а).

2.3 Диаграмма разброса

Диаграмма разброса – инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных [3-6].

Может быть установлена следующая корреляция:

- факторов и характеристик качества;
- двумя разными характеристиками качества;
- двумя факторами, связанными с одной характеристикой качества.

Алгоритм создания диаграммы (рисунок 6) следующий [3-6]:

1. Формирование исходного набора парных данных (не менее 25) в таблице.
2. Определение MAX() и MIN() для парных данных. Проведение тарировки горизонтальной и вертикальной шкалы так, чтобы приращения Δx и Δy были примерно равны (это облегчает чтение диаграммы), а по каждой оси умещалось от 3 до 10 отсчетов (лучше целые).
3. Для оценки влияния фактора на показатель качества, фактор расположить по оси абсцисс, а показатель – по оси ординат.
4. Нанести на график необходимые данные:
 - наименование диаграммы;
 - диапазон времени;
 - количество пар данных;
 - информацию о создателе диаграммы.
5. Используя табличный процессор MS Excel по данным из таблицы парных значений построить диаграмму разброса (см. рисунке 5).

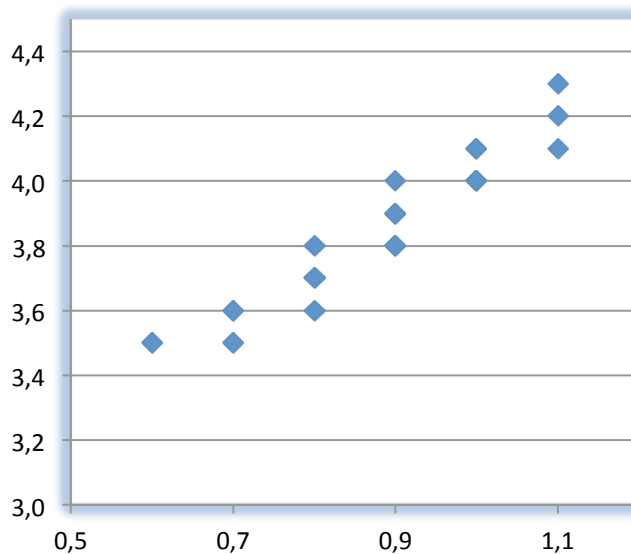
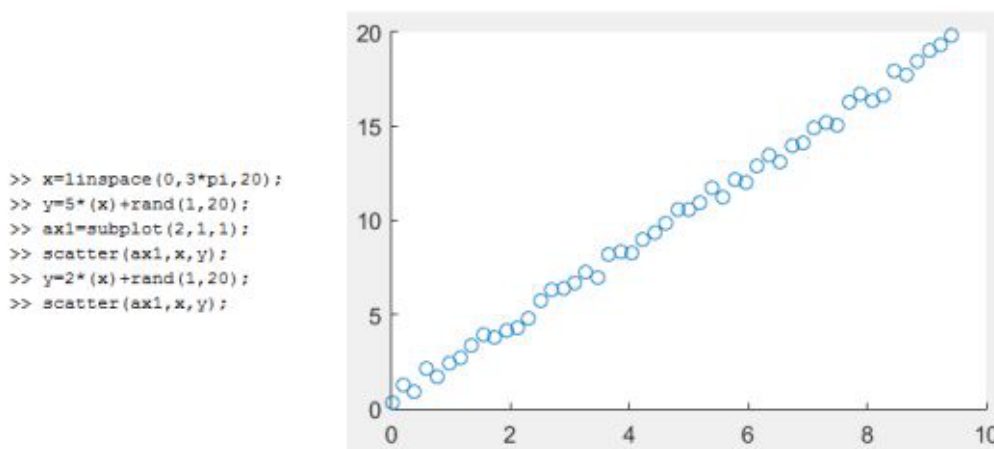


Рис. 5 – Общий вид диаграммы разброса

Если диаграммы разброса отражают характер изменения параметров качества во времени при воздействии различных факторов, то по оси X откладывают начальные значения параметра качества, а по оси Y – значения того же параметра в конечный момент времени. Это отражает динамику изменения параметра во времени (рисунок 6). При отсутствии корреляции получаем график, приведенный на рисунке 7.



а)

б)

Рис. 6 – Листинг обработки данных в программе MatLab, в результате которого происходит построение диаграммы прямой корреляции (а), диаграмма прямой корреляции, построенная в среде MatLab (б)

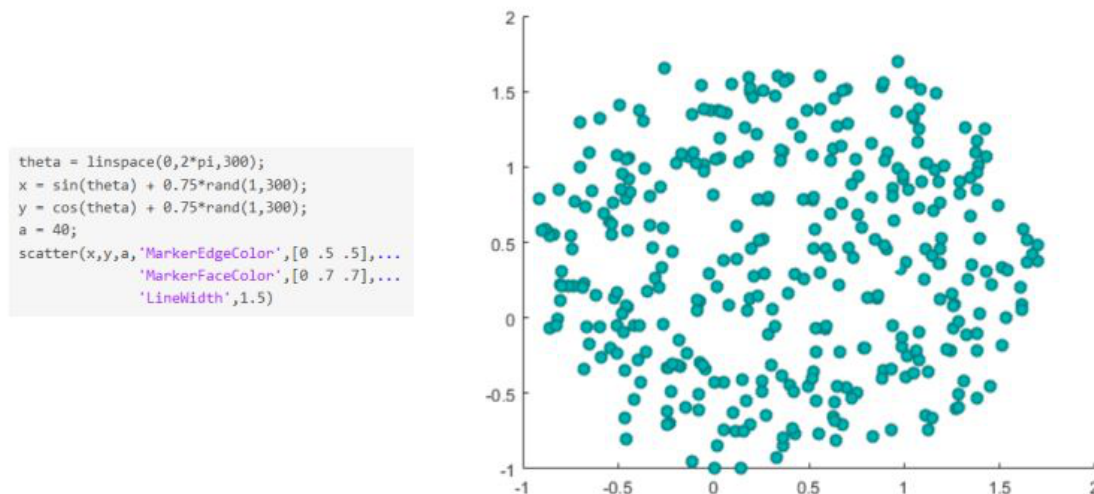


Рис. 7 – Листинг обработки данных в программе MatLab, в результате которого происходит построение диаграммы отсутствия корреляции (а) и диаграмма отсутствия корреляции, построенная в среде MatLab (б)

Если все характеристические точки графика будут расположены на в в пределах допуска на, то рассматриваемый процесс можно считать стационарным. Если точки преимущественно будут расположены над биссектрисой, то показатели параметра выросли. Если – ниже биссектрисы, то снизились.

2.4 Метод расслаивания статистических данных

Метод расслаивания статистических данных – это инструмент, позволяющий произвести селекцию (кластеризацию) данных, отражающую требуемую информацию о процессе. Выделяют функциональные группы данных (слои - страты). В производственных процессах такая группировка получила название "5M": человек (man), машина (machine), материал (material), метод (method), измерения (measurement) [2, 10 - 12].

Реализация диаграмм, в которых отличия значений случайных величин, принадлежащих одному кластеру минимальны, может быть реализована с применением встроенных инструментов по кластеризации векторов библиотеки NNTolls MatLab.

При расслаивании (кластеризации) каждый объект характеризуется набором признаков (x_1, x_2, \dots, x_M), образующих вектор x . Для анализа данных предполагается заданной выборка $x^{(p)}$, $p=1, \overline{P}$, где p - номер выборочного примера (рис.8). Выборочные данные образуют несколько кластеров, каждый соотносится со своим прототипом ('o'). Знание прототипов и переход с их помощью к кластерам данных существенно сокращает размерность решаемой задачи и облегчает исследование.

```

>> p=[1 0.7 0 0.5; 0 0.3 1 0.9]

p =

    1.0000    0.7000         0    0.5000
         0    0.3000    1.0000    0.9000

>> t=[1 1 0 0]

t =

     1     1     0     0

>> plotpv(p, t);
>> line = plotpc(net.IW{1}, net.b{1}, line);
>> drawnow;
>> sim(net, [0;0])
>> sim(net, [1;0])
>> sim(net, [0;1])
>> sim(net, [1;1])

```

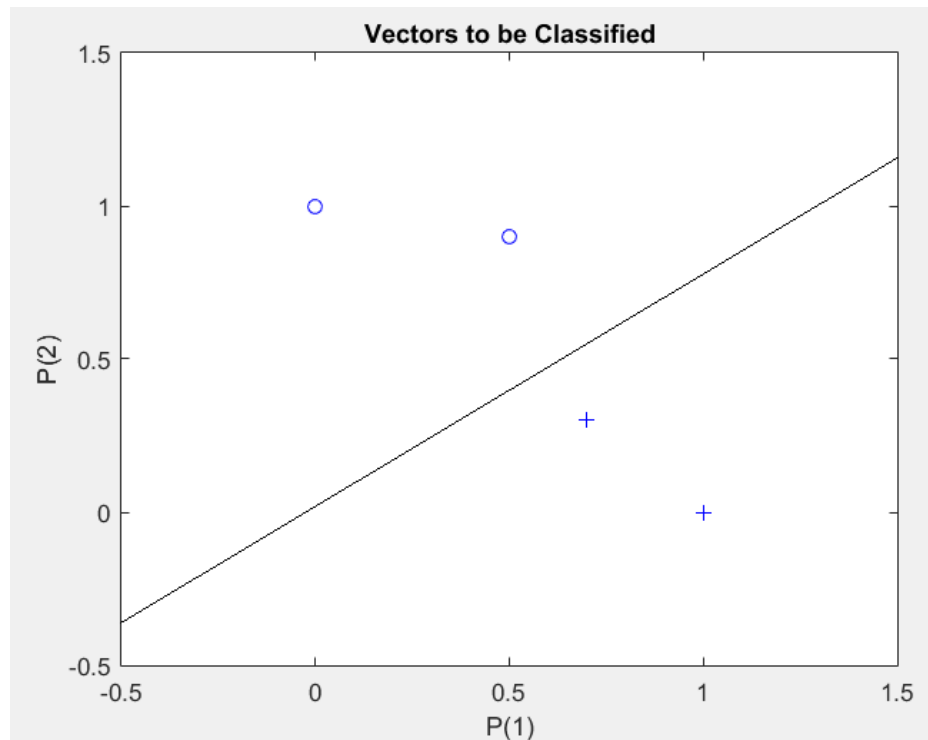


Рис. 8 – Примеры листинга кода и графика кластеризации в проекции на плоскость $X1X2$

На рисунке 8 представлены результаты кластеризации в проекции на плоскость $X1X2$, полученные с помощью нейронной сети из пакета NNTools MatLab [14].

2.5 Диаграмма Парето

Диаграмма Парето – это инструмент, позволяющий выявить основные причины проблем и продумать план по их разрешению [3-6].

На первом этапе определяются характерные проблемы предметной области. Следующим этапом формируются статистические выборки по каждому фактору. После оценки значимости факторов основные усилия направляют на наиболее весомые факторы.

Построение диаграммы осуществляют в прямоугольной системе координат. Ось абсцисс - факторы в порядке их убывания, ось ординат – показатель вклада фактора в рассматриваемую проблему (см. рис. 9) [2].

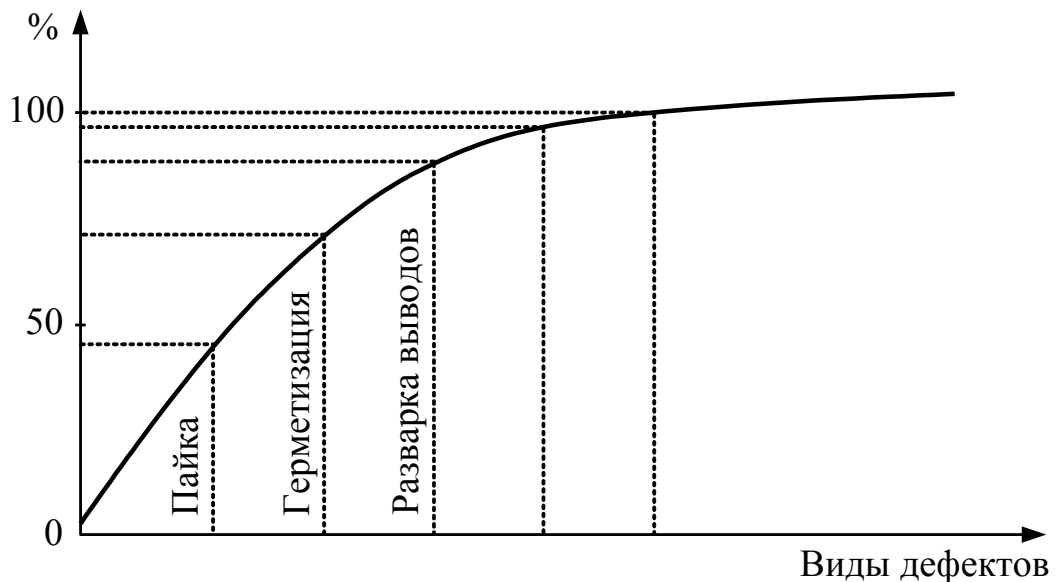


Рис. 9 – Общий вид диаграммы Парето

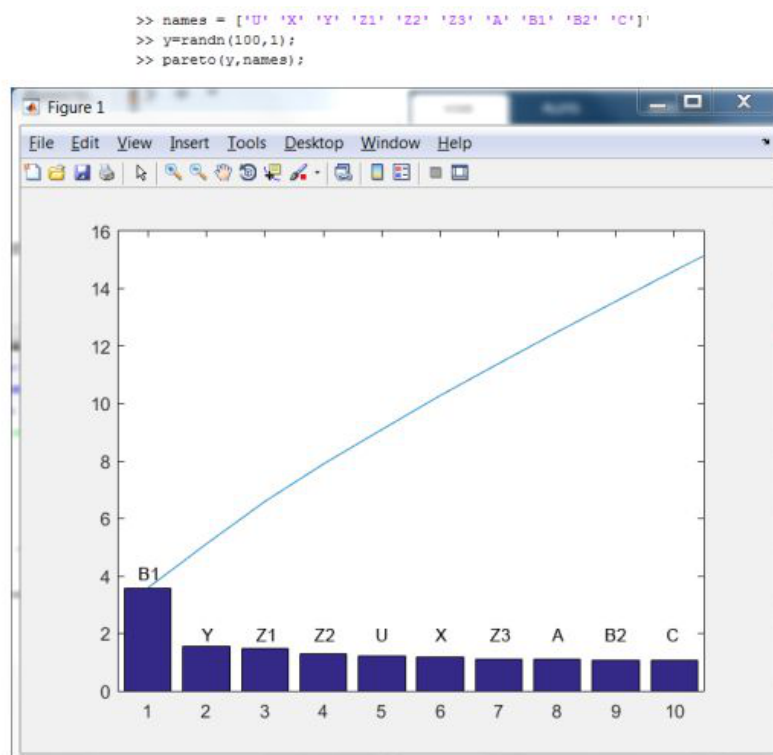


Рис. 10 – Листинг для построения диаграммы Парето и диаграмма Парето, построенная в среде MatLab

Листинг MatLab, осуществляющий создание диаграммы Парето из 10 фактов по нормальному закону (каждому факту соответствует переменная из массива «names»).

2.6 Причинно-следственная диаграмма

Причинно-следственная диаграмма («Рыбий скелет» - схема Исикавы-Сибирякова) – позволяет эффективно находить решения в сложных ситуациях и вырабатывать новые идеи, находить существенные факторы, влияющие на конечный результат [2, 15 - 20].

Главная проблема записывается в «голове» рыбы. Далее каждая возникающая идея записывается у «боковых косточек», которые отходят от «хребта» с каждой стороны. «Ребра» можно дополнять дополнительными идеями в виде мелких косточек.

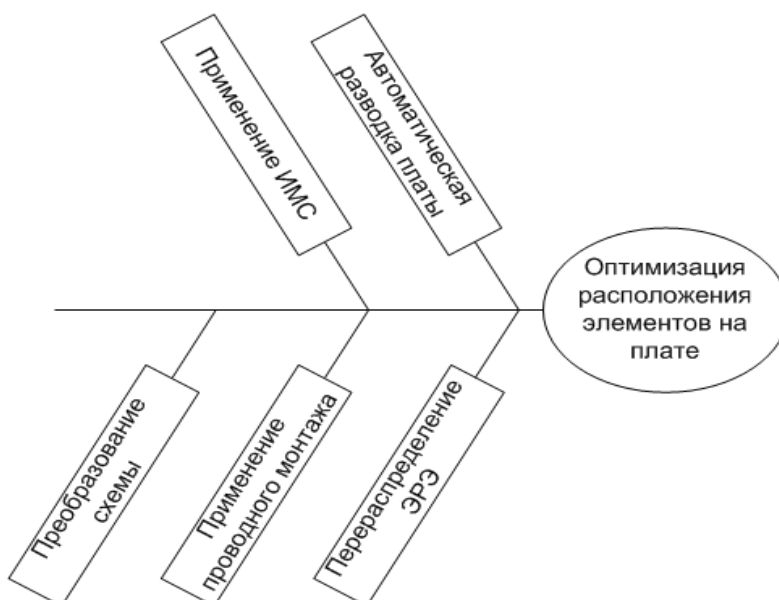


Рис. 11 – Пример диаграммы Исикавы-Сибирякова

Эта диаграмма относится к классу визуальных инструментов, не предполагает явную обработку статистических исходных данных и строится средствами классических визуальных редакторов [1, 2, 16-21].

2.7 Контрольные карты

Контрольные карты (КК) – это инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей отрицательной обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявляемых к процессу требований. Впервые КК были предложены В. Шухартом в 1924 г. [1, 2, 7].

Выделяют интегральные КК, контролирующие количественные характеристики (размеры, масса и т. д.). Дифференциальные КК, отражают контроль качественных альтернативных дискретных параметров (есть дефект – нет дефекта). Типы КК показаны на рисунке 12.

Карты количественные			Карты качественные			
			Число дефектов в выборке	Число дефектных изделий		
$\bar{x}-S$	$\bar{x}-R$	\bar{x}	C	u P_n	P	
n большое	n малое	$n=1$	n постоянное	n разное	n постоянное n разное	

Рис. 12 - Типы КК

КК отражают стабильность технологического процесса [22, 23]. С использованием данных карт возможна реализации аналитики с позиций динамического предсказания оценки достижения границ допуска и необходимости упреждающих действий [21-23]. На рисунках 13 и 14 показаны задание массива карт Шухарта и S-контрольная карта Шухарта в среде MatLab.

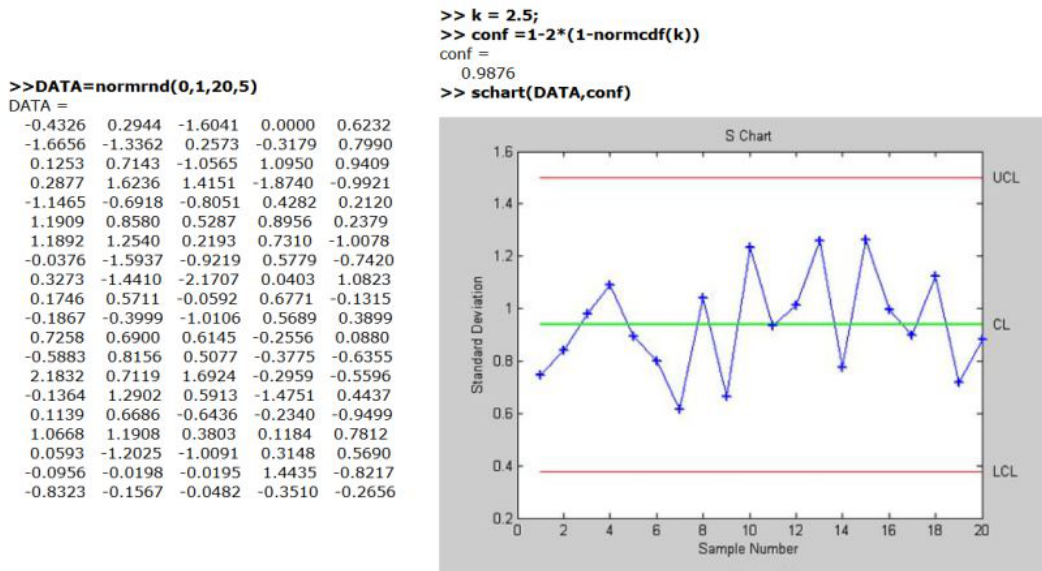


Рис. 13 – Пример массива данных для построения карт Шухарта (а) и пример листинга программы MatLab и карта Шухарта, построенная в среде MatLab

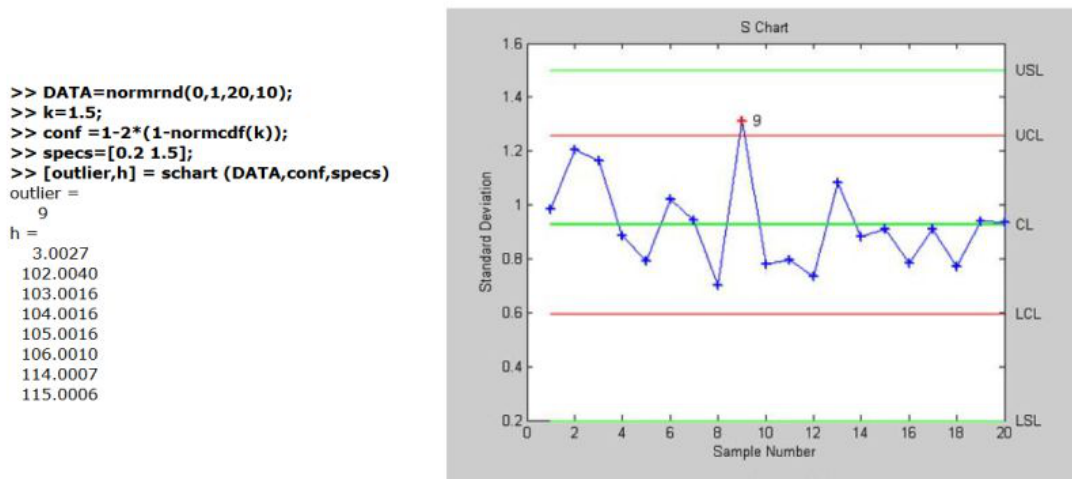


Рис. 14 – Пример листинга программы MatLab и S-контрольная карта Шухарта для контрольных границ равных $\pm 1,5\sigma$ и границами допусков $LSL=0,2$; $USL=1,5$ (где: outlier - вектор номеров выборок, вышедших за контрольные границы, h - вектор указателей на объекты графика)

На основе сравнительного анализа применения СИУК для решения задач управления качеством составим экспертную карту (рис. 15), содержащую основные рекомендации по использованию предложенных в работе IP модулей СИУК, реализованных в среде MatLab.


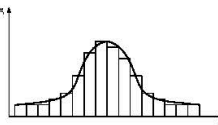
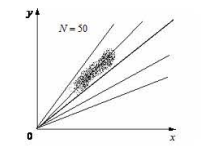
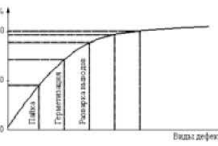
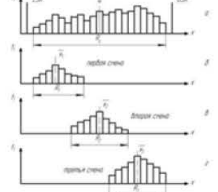
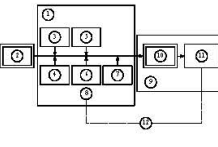
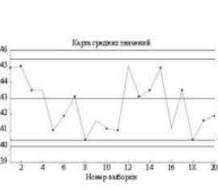
№		Определение	Визуальная схема	Сравнительный анализ	
				Достоинства	Недостатки
1	Контрольный листок	Инструмент для сбора данных и автоматического их упорядочения для облегчения использования собранной информации. Контрольный листок – это бланк, на котором отпечатаны контролируемые параметры		Легкость применения, систематизация данных для работы с другими инструментами качества, применение единой формы	Заранее заданные параметры измерений, при возникновении дефекта в непредусмотренной области, он будет не учтен
2	Гистограмма	Инструмент, позволяющий зрительно оценить закон распределения статистических данных		Наглядность, простота, возможность быстро представить вид распределения большого числа данных	Отсутствие возможности количественно оценить стабильность процесса, отсутствие привязки ко времени, необходимость большого числа данных для точной оценки распределения
3	Диаграмма разброса	Инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных		Простой и удобный инструмент для выявления взаимозависимости двух величин	Для достоверности необходим большой объем данных, корреляция может осуществляться через третью величину
4	Диаграмма Парето	Инструмент, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать действовать		Дает возможность сфокусироваться на наиболее значимых проблемах, легка для понимания и применения персоналом	Имеется возможность ввести в заблуждение о значимости проблем, если не учитывается стоимость последствий возникающих дефектов
5	Расслоение (стратификация)	Инструмент, позволяющий произвести селекцию данных, отражающую требуемую информацию о процессе		Работа с группами данных, упрощается обработка статистических данных	Необходимость предварительного выбора верных факторов стратификации
6	Причинно-следств. диаг.	Инструмент, позволяющий выявить наиболее существенные факторы, влияющие на конечный результат		Графическое отображение причин, влияющих на проблему, анализ цепочки взаимосвязанных причин, влияющих на проблему	В случае рассмотрения комплексной проблемы определенная сложность построения диаграммы
7	Контрольные карты	Инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей отрицательной обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявляемых к процессу требований		Позволяют предотвратить появление дефектов, позволяют визуально определить момент изменения процесса, создавая возможности для его улучшения	Необходимость работы в реальном времени, высокий уровень подготовки персонала

Рис. 15 – Сравнительный анализ инструментов системного анализа для контроля качества ЭА [1-7]

Применение инструментария среды Matlab и табличного процессора Excel обеспечивает наглядность, простоту и доступность обработки и анализа результатов. Диаграммы и гистограммы позволяют визуализировать проблемы и подходы к их решению. Контрольные карты и листки позволяют осуществлять непосредственно контроль процессов, по заданным параметрам в режиме реального времени.

Заключение

В работе предложены методы автоматизации контроля качества средствами программ MatLab и табличного процессора MS Excel. Представлены примеры исполняемого кода для реализации семи основных инструментов контроля качества. В совокупности основные инструменты контроля качества позволяют осуществлять контроль и управление процессами, выявляя прежде всего причину возникновения рисков появления ненадлежащего качества продукции.

Литература

1. В. В. Маркелов, А. С. Кабаева Управление Качеством Электронных Средств: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 272 с. : ил. (Библиотека «КЭВС» : в 25 кн. Кн. 2).
2. В.В.Маркелов, А.И.Власов, Д.Е.Зотьева Управление и контроль качества изделий электронной техники. Семь основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники // Датчики и системы. - 2014. - №8. - С.55-67.
3. Маркелов В.В., Камышная Э.Н., Зотьева Д.Е. Методы автоматизации входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 68-84.
4. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. автоматизация методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MATLAB // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 3 (7). С. 38-43.
5. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. Автоматизация одноступенчатого контроля качества в среде MATLAB // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 2 (10). С. 34-41.
6. Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е. Автоматизация многоступенчатого контроля качества в среде MATLAB// Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1 (9). С. 58-62.
7. А.В.Еланцев, В.В.Маркелов. Автоматизированный контроль и испытания электронной аппаратуры – М.: Изд-во МГТУ, 1990. – 51 с., ил.
8. Власов А.И., Михненко А.Е. Информационно-управляющие системы для производителей электроники // Производство электроники. 2006. № 3. С. 15-21.
9. Власов А.И., Михненко А.Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники. 2006. № 4. С. 5-12.
10. Л. Ноултер и др. Статистические методы контроля качества продукции. Пер. с англ. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 96 с.
11. Управление качеством электронных средств: Учебник для вузов. О.П. Глудкин и др. – М.: Высшая школа, 199 – 414 с.
12. О.П. Глудкин. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1999.
13. Адамов А.П., Адамова А.А., Сенькина М.А., Исмаилова И.Т. Системный анализ в управлении предпринимательскими организациями. Под общей редакцией А.П. Адамова – Санкт-Петербург, Изд.:“Политехника”, 2002. 251 с.
14. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений : учеб. пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.— 647, [1] с. : ил.
15. Потемкин В.Г., Медведев В.С. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ - MatLab 6.0 - М.: Диалог-МИФИ. 2002. 496.
16. Маркелов В.В., Власов А.И., Камышная Э.Н. Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники // Надежность и качество сложных систем. - 2014. - №1. - С.35-43
17. Власов А.И., Иванов А.М. Визуальные модели управления качеством на предприятиях электроники // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. № 11. С. 34.
18. Дудко В.Г., Верейнов К.Д., Власов А.И., Тимошкин А.Г. Современные методы и средства обеспечения качества в условиях комплексной автоматизации // Вопросы Радиоэлектроники, Сер. АСУПР, 1996, №2, С.54-72.
19. Власов А.И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей// Международный научно-исследовательский журнал – 2013. – №10. Часть 2. – С.17-26.
20. Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро- наносистем // Научное обозрение. 2013. №1. - С.107-111.
21. А.И.Власов Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и Системы. - 2013. - №9. - С.10-28.
22. Камышная Э.Н., Маркелов В.В., Соловьев В.А. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. 165 с.
23. Еланцев А.В., Курбанмагомедов К.Д., Маркелов В.В., Набиуллин А.Н. Методы и средства автоматизированного контроля и испытаний электронной аппаратуры. Часть 2: Анализ и обеспечение контроле- и тестопригодности ЭА - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1992. 78 с.

References

1. V. V. Markelov, A. S. Kabaeva Upravlenie Kachestvom Elektronnyh Sredstv: ucheb. posobie. – M.: Izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman, 2014. – 272 s. : il. (Biblioteka «KJeVS» : v 25 kn. Kn. 2).
2. V.V.Markelov, A.I.Vlasov, D.E.Zot'eva Upravlenie i kontrol' kachestva izdelij jelektronnoj tehnik. Sem' osnovnyh instrumentov sistemnogo analiza pri upravlenii kachestvom izdelij jelektronnoj tehnik // Datchiki i sistemy. - 2014. - №8. - S.55-67.
3. Markelov V.V., Kamyshnaja Je.N., Zot'eva D.E. Metody avtomatizacii vhodnogo statisticheskogo kontrolja pri upravlenii kachestvom izdelij jelektronnoj tehnik // Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve. 2014. № 3 (155). S. 68-84.

4. Markelov V.V., Vlasov A.I., Zot'eva D.E. avtomatizacija metodov vhodnogo statisticheskogo kontrolja pri upravlenii kachestvom izdelij jelektronnoj tehniky v srede MATNLAV // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2014. № 3 (7). S. 38-43.
5. Markelov V.V., Vlasov A.I., Zot'eva D.E. Avtomatizacija odnostupenchatogo kontrolja kachestva v srede MATLAV // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2015. № 2 (10). S. 34-41.
6. Markelov V.V., Vlasov A.I., Zot'eva D.E. Avtomatizacija mnogostupenchatogo kontrolja kachestva v srede MATLAV// Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2015. № 1 (9). S. 58-62.
7. A.V.Elancev, V.V.Markelov. Avtomatizirovannyj kontrol' i ispytaniya jelektronnoj apparatury – M.: Izd-vo MGTU, 1990. – 51 s., il.
8. Vlasov A.I., Mihnenko A.E. Informacionno-upravljajushhie sistemy dlja proizvoditelej jelektroniki // Proizvodstvo jelektroniki. 2006. № 3. S. 15-21.
9. Vlasov A.I., Mihnenko A.E. Principy postroenija i razvertyvanija informacionnoj sistemy predpriyatija jelektronnoj otrasli // Proizvodstvo jelektroniki. 2006. № 4. S. 5-12.
10. L. Noulér i dr. Statisticheskie metody kontrolja kachestva produkcii. Per. s angl. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1989. – 96 s.
11. Upravlenie kachestvom jelektronnyh sredstv: Uchebnik dlja vuzov. O.P. Gludkin i d.r. – M.: Vysshaja shkola, 199 – 414 s.
12. O.P. Gludkin. Vseobshhee upravlenie kachestvom: Uchebnik dlja vuzov. – M.: Radio i svjaz', 1999.
13. Adamov A.P., Adamova A.A., Sen'kina M.A., Ismailova I.T. Sistemnyj analiz v upravlenii predprinimatel'skimi organizacijami. Pod obshhej redakciej A.P. Adamova – Sankt-Peterburg, Izd.: "Politehnika", 2002. 251 s.
14. Greshilov A. A. Matematicheskie metody prinjatija reshenij : ucheb. posobie. — 2-e izd., ispr. i dop. — M. : Izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman, 2014.— 647, [1] s. : il.
15. Potemkin V.G., Medvedev V.S. NEJRONNYE SETI - MatLab 6.0 - M.: Dialog-MIFI. 2002. 496.
16. Markelov V.V., Vlasov A.I., Kamyshnaja Je.N. Sistemnyj analiz processa upravlenija kachestvom izdelij jelektronnoj tehniky // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. - 2014. - №1. - S.35-43
17. Vlasov A.I., Ivanov A.M. Vizual'nye modeli upravlenija kachestvom na predpriyatijah jelektroniki // Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie. 2011. № 11. S. 34.
18. Dudko V.G., Verejnov K.D., Vlasov A.I., Timoshkin A.G. Sovremennye metody i sredstva obespechenija kachestva v uslovijah kompleksnoj avtomatizacii // Voprosy Radiojelektroniki, Ser. ASUPR, 1996, №2, S.54-72.
19. Vlasov A.I. Sistemnyj analiz tehnologicheskikh processov proizvodstva slozhnyh tehnicheskikh sistem s ispol'zovaniem vizual'nyh modelej// Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal – 2013. – №10. Chast' 2. – S.17-26.
20. Vlasov A.I., Zhuravleva L.V., Timofeev G.G. Metody generacionnogo vizual'nogo sinteza tehnicheskikh reshenij v oblasti mikro- nanosistem // Nauchnoe obozrenie. 2013. №1. - S.107-111.
21. A.I.Vlasov Prostranstvennaja model' ocenki jevoljucii metodov vizual'nogo proektirovanija slozhnyh sistem // Datchiki i Sistemy. - 2013. - №9. - S.10-28.
22. Kamyshnaja Je.N., Markelov V.V., Solov'ev V.A. Konstruktorsko-tehnologicheskie raschety jelektronnoj apparatury - M.: Izd-vo MGTU im.N.Je.Bauman. 2014. 165 s.
23. Elancev A.V., Kurbanmagomedov K.D., Markelov V.V., Nabiullin A.N. Metody i sredstva avtomatizirovannogo kontrolja i ispytanij jelektronnoj apparatury. Chast' 2: Analiz i obespechenie kontrole- i testoprigradnosti JeA - M.: Izd-vo MGTU im.N.Je.Bauman, 1992. 78 s.



*Международный научно-исследовательский журнал включен в базу научного цитирования **Google Scholar**.*

***Google Scholar** – поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин. Наличие статей в **Google Scholar** увеличивает возможность цитируемости, не только в России, но и за рубежом.*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.249

Власов А.П.

ORCID: 0000-0002-4742-9926, кандидат технических наук, доцент по кафедре информационных технологий,
Ивановский государственный химико-технологический университет

КАНОНИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

В статье рассмотрен верхний уровень декомпозиции некоторых типовых проектных решений, используемых при создании автоматизированных информационных систем предприятий. Показано существенное расхождение в подходах различных разработчиков к концепции MRP/ERP. Дано формализованное описание типовых проектных решений с использованием теоретико-множественного анализа. Показано, что существование канонического представления означает возможность провести декомпозицию системы на динамическую и статическую подсистемы. Предложенная модель позволяет аргументированно выбрать ту или иную систему для конкретного предприятия.

Ключевые слова: автоматизация, ERP-система, теоретико-множественный анализ.

Vlasov A.P.

¹ORCID: 0000-0002-4742-9926, PhD in Engineering, associate professor in the Department of Information Technology,
Ivanovo State University of Chemistry and Technology,

CANONICAL REPRESENTATION AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

Abstract

In the article the upper level of decomposition of some typical design solutions used in the creation of automated information systems companies. A significant difference in the approaches of different developers to MRP / ERP concept. The formalized description of typical project solutions with set-theoretic analysis. It is shown that the existence of a canonical representation means that you can spend on the decomposition of the system dynamic and static subsystems. The proposed model allows arguments to choose one or another system for a particular company.

Keywords: automation, ERP-system, the set-theoretic analysis.

С середины 60-х годов XX века за рубежом начали создаваться автоматизированные информационные системы (АИС), которые получили обобщенное название ERP-системы (Enterprise Resource Planning) [1].

В нашей стране аналогичные системы (создаваемые с конца 60-х годов) получили название типовых проектных решений (ТПР). Это АИС-Кунцево, «Плутон», «Сатурн», «Юпитер» и др. [5].

Как отмечено в [1], разнородное и слабо формализованное описание ERP-систем (которые по определению должны быть схожими) создает серьезные проблемы для отечественных заказчиков по выбору той или иной ERP-системы.

Для сравнения можно отметить следующие существенные расхождения в различных подходах. Некоторые авторы выделяют 16 групп функций, причем утверждается, что их система соответствует стандарту MRP/ERP. Во-первых, ни в одном компетентном органе по стандартизации стандарт MRP/ERP не зарегистрирован, во-вторых другие разработчики (уверяющие, что их система соответствует стандарту MRP/ERP) создают системы, перечень функций которых существенно отличается от стандарта.

Другие авторы выделяют 9 групп функций, 7 и. т.п.

Системы, представленные выше, существенно отличаются друг от друга и каждая не соответствует типовому представлению об ERP-системах. Хотя в рекламных заявлениях всех систем, говорится о том, что система соответствует стандарту MRP/ERP.

Не вполне корректно излагаются такие понятия, как планирование и управление, учет и управление. Например, в некоторых ERP-системах на верхнем уровне декомпозиции описываются две самостоятельные функции- управление персоналом и кадровый учет. В связи с чем, возникает законный вопрос: разве учет не является частью управления и возможно ли управление без учета. Другой пример, в описании функций некоторых систем присутствует исключительно только одна из фаз управления, а именно планирование. Такая важнейшая фаза как учет в описании отсутствует.

Автором предлагается использовать формализованное описание по ERP- системам для выбора той или иной системы, соответствующей целям предприятия. Данный подход использовался автором в работах [2], [3], где было отмечено, что использование теоретико-множественного анализа для исследования слабо больших и сложных систем, является довольно целесообразным

Система с теоретико-множественной точки зрения [4] представляет собой бинарное отношение S:

$$S \subseteq X \times Y$$

Применительно к ERP-системе принимается, что X- входная информация, поступающая в ERP-систему из внешней среды, Y- выходная информация, направляемая из ERP-системы во внешнюю среду.

В [4] детально разработана теория реализации динамических систем, изучен вопрос существования динамического представления для соответствующим образом определенной временной системы.

Как правило, временная система задается своим семейством реакций $\bar{\rho}$ и задача теории реализации состоит в том, чтобы определить при каких условиях существует такое семейство функций перехода состояний $\bar{\varphi}$ и временная система S, что пара $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ служит для нее динамической реализацией. При этом отмечается, что динамика систем должна описываться в терминах семейства объектов состояний, а в ряде случаев в едином пространстве состояний.

В [4] определены условия согласованности и реализуемости семейства реакций, также показано, что эти условия оказываются нетривиальными только тогда, когда семейство реакции содержит лишь полные функции, т. е. тогда, когда частичная функция не может стать элементом семейства $\bar{\rho}$. Введено понятие неупреждаемости системы, которое необходимо и достаточно, чтобы любую временную систему можно было представить двумя семействами функций, а именно — функций перехода состояний и выходных функций.

Также отмечается, что если система является неупреждающей, то ее выходная функция определяется как правило на объектах состояний. А так как выходная функция всегда статическая, то в подобном случае вся динамика системы описывается одним семейством функций перехода состояний. Это весьма важное и удобное свойство, а поэтому представление системы парой $(\bar{\varphi}, \bar{\lambda})$ названо каноническим. Состояния системы можно описать отношением эквивалентности на парах «вход — начальное состояние».

Для исследования каждой ERP-системы вводится в рассмотрение несколько семейств функций:

$$\begin{aligned}\bar{\rho} &= \{\rho_t: C \times X_t \rightarrow Y_t \& t \in T\} \\ \bar{\varphi} &= \{\varphi_{tt'}: C \times X_{tt'} \rightarrow C \& t, t' \in T \& t' > t\} \\ \bar{\mu} &= \{\mu_{tt'}: C_t \times X_{tt'} \rightarrow Y_{tt'}(t')\}. \\ \bar{\lambda} &= \{\lambda_t: C_t \times X(t) \rightarrow Y(t)\}.\end{aligned}$$

где:

$\bar{\rho}$ - функция, характеризующая реакцию системы в момент времени t . Данная функция наиболее наглядно позволяет представить поведение тех подсистем (модулей) ERP-системы, которые используются в оперативном режиме. Например, управление ежесуточными заданиями и т.п.;

C_t и $C_{t'}$ - множества состояний системы в моменты времени t и t' ;

T - данный промежуток времени;

$\bar{\varphi}$ - функция, характеризующая переход системы из состояния C_t в состояние $C_{t'}$;

$\bar{\mu}$ - функция, характеризующая семейство выхода. Эта функция позволяет эффективно описать реакции системы и определять значения выходной величины системы для любого момента времени, т.е. для любых x_t и c определять $y(t)$. Если такая функция задана, то величину выхода y для любой заданной пары (x, c) можно считать известной, в том смысле, что функция позволяет узнать ее значение в любой момент времени $t \in T$.

$\bar{\lambda}$ - функция, описывающая эволюцию динамической системы во времени с помощью переходов в пространстве состояний. Так же связывает изменение состояний с изменением выхода системы.

Функции $\bar{\varphi}$ и $\bar{\mu}$ наиболее наглядно позволяют представить поведение подсистем (модулей) ERP-системы, которые используются в среднесрочном (тактическом) и в долгосрочном (стратегическом) плане.

В [4] предлагается следующий подход к каноническому представлению динамической системы.

Пусть для системы S заданно семейство производящих функций выхода $\bar{\mu} = \{\mu_{tt'}: t, t' \in T\}$. Пару $(\bar{\varphi}, \bar{\lambda})$, где $\bar{\varphi}$ - семейство функций перехода состояний, а $\bar{\lambda}$ - семейство выходных функций, мы будем называть каноническим (динамическим) представлением системы S тогда и только тогда, когда для любых $t, t' \in T$ выполняется условие $(\varphi_{tt'}, R_{t'}) (c_t, x_{tt'}) = (\varphi_{tt'}(c_t, x_{tt'}), \bar{\lambda}_{tt'}(t'))$.

Существование канонического представления по сути дела означает возможность провести декомпозицию системы на динамическую и статическую подсистемы. Первая из этих подсистем, обозначенная через $\varphi_{tt'}$, полностью отражает динамику доведения системы, в то время как две остальные подсистемы, $\lambda_{t'}$ и $R_{t'}$, являются статическими и определяют лишь, как текущее состояние системы и текущее значение ее входного воздействия преобразуются в значение выходной величины. Первая из этих подсистем определяется исключительно в терминах $\bar{\varphi}$, и поэтому динамика системы вполне отражается семейством функций. Если исследователя интересует одна лишь динамика системы, то можно все свое внимание сосредоточить лишь на семействе $\bar{\varphi}$.

Рассматриваемая система также может быть декомпозирована по другому принципу, т.е. с контуром обратной связи. Такая система в целом описывается отношением $S \subset (X \times Z_x) \times (Y \times Z_y)$, а ее элемент обратной связи — отношением $S_f \subset Z_y \times Z_x$.

Подобный вид декомпозиции применим для исследования АИС как для предприятия в целом, так и для исследования отдельных подсистем, таких как маркетинг, финансы, персонал, качество, основное производство, вспомогательное производство, снабжение и др. Иллюстрация декомпозиции приведена на рис. 1.

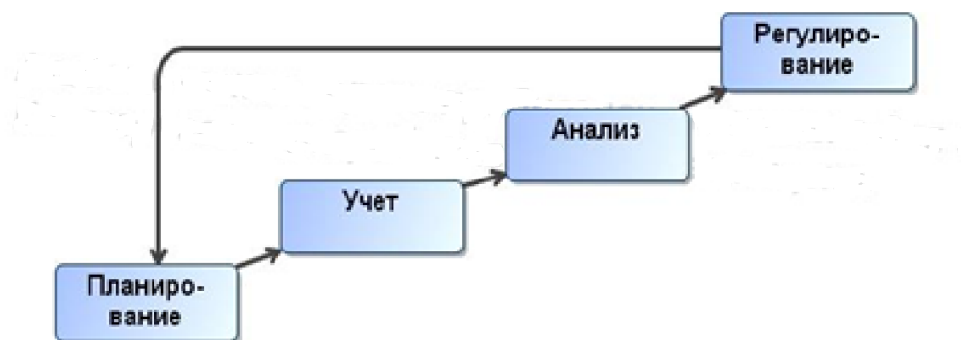


Рис. 1 – Декомпозиция системы с контуром обратной связи

Предложенная модель может быть использована для формализованного описания различных ERP-систем с целью их сопоставления и выбора для соответствия требованиям конкретного предприятия.

Литература

1. Власов А.П., Бобков С.П., Солон Б.Я. Анализ современных ERP-систем//Российская академия естествознания. региональное приложение к журналу «Современные наукоемкие технологии». -2009. - № 2 - С. 50–54.
2. Власов А.П., Бобков С.П., Солон Б.Я. Моделирование процесса продвижения научной информации//Известия вузов «Химия и хим. технология». -2008. -т.51, вып. 3. - С.98-100.
3. Власов А.П., Бобков С.П., Солон Б.Я. Теоретико-множественный анализ системы маркетинга информационных продуктов //Сборник научных трудов вузов России, Проблемы экономики, финансов и управления производством, 19 вып. - 2005. - С.272–274.
4. Mesarovich M.D., Yasuhico Takahara. General Systems Theory: Mathematical Foundations, Academic press, New York, San Francisco, London. 1975, p.268. – ISBN 0-12-491540-X.
5. Власов А.П., Бобков С.П., Солон Б.Я., Исследование типовых проектных решений, используемых при создании КИС. На примере предприятий химического машиностроения/ Монография, изд. LAP LAMBERT Academic Publishing; – Saarbrucken Germany, 2014.-121 с. ISBN 978-3-659-53704-2

References

1. Vlasov A.P., Bobkov S.P., Solon B.J. Analysis of modern ERP-systems // Russian Academy of Natural Sciences. regional supplement to the journal "Modern high technologies." -2009. - № 2 - P. 50-54.
2. Vlasov A.P., Bobkov S.P., Solon B.J. Simulation of the process of promoting scientific information // Proceedings of the universities "Chemistry and Chemical Engineering. technology". -2008. -t.51 Vol. 3. - S.98-100.
3. Vlasov A.P., Bobkov S.P., Solon B.J. The set-theoretic analysis of information products marketing system // The collection of scientific works of Russian universities, Problems of Economics, Finance and Production Management, 19 vol. - 2005. - S.272-274.
4. Mesarovich M.D., Yasuhico Takahara. General Systems Theory: Mathematical Foundations, Academic press, New York, San Francisco, London. 1975, p.268. – ISBN 0-12-491540-X.
5. Vlasov A.P., Bobkov S.P., Solon B.J., Types of research design solutions used to create the ICC. For example, chemical engineering enterprises / Monograph, Vol. . LAP LAMBERT Academic Publishing ; – Saarbrucken Germany, 2014.-121 с. ISBN 978-3-659-53704-2

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.146

Газиева Л.Р.¹, Уразбахтина Ю.О.²¹Магистрант второго года обучения, Уфимский государственный авиационный технический университет,²Доцент, кандидат технических наук, декан факультета Авионики, энергетики и инфокоммуникаций,

Уфимский государственный авиационный технический

**ДОПЛЕРОВСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЛОДА
С ЦИФРОВЫМ БЛОКОМ ФИЛЬТРАЦИИ ШУМОВ****Аннотация**

В статье описывается устройство, с помощью которого можно определять состояние плода путем прослушивания его сердцебиения. Одним из показателей жизнеспособности плода является сердцебиение, поэтому необходимо мониторировать работу сердца во время всей беременности. Принцип работы устройства основан на эффекте Доплера. В работе подробно описан метод, приведена структурная схема и описание принципа работы разрабатываемого устройства. Предлагается использование цифровых фильтров для устранения помех в полезном сигнале.

Ключевые слова: сердцебиение плода, эффект Доплера, ультразвуковые колебания, частота сердечных сокращений плода, цифровая фильтрация.

Gazieva L.R.¹, Urazbaxtina J.O.²¹Master, Ufa state aviation technical university, ²Associate professor, PhD in Engineering, dean of faculty of Avionics, power and infokommunication, Ufa state aviation technical university**THE DOPPLER DEVICE FOR AN ASSESSMENT OF CARDIAC ACTIVITY OF A FETUS WITH DIGITAL
BLOCK OF A FILTRATION OF HUMS****Abstract**

In article the device by which it is possible to determine a condition of a fetus by listening of its heartbeat is described. One of indicators of viability of a fetus is heartbeat therefore it is necessary to monitor the work of heart during all pregnancy. The principle of operation of the device is based on Doppler's effect. In work the method is in detail described, the block diagram and the description of the principle of operation of the developed device is provided. Use of digital filters for noise elimination in a useful signal is offered.

Keywords: heartbeat of a child, Doppler's effect, ultrasonic fluctuations, child heart rate, digital filtration.

One of indicators of viability of a fetus is heartbeat. It is possible to determine various diseases and deviations in a child development by the frequency of heartbeat. Therefore it is necessary to watch heartbeat throughout pregnancy. In this work the device by which it is possible to determine a condition of a fetus by listening of its heartbeat is offered. The principle of operation of the device is based on a Doppler effect.

The diagnostic equipment intended for filing of parameters of activity of a fetus finds application generally in stationary medical institutions. Therefore work in the field of projection portable the fetal Dopler – devices of self-contained overseeing by heartbeat of a fetus that will allow future mother to trace self-contained a condition of the child, since twelfth week of pregnancy in comfortable conditions of the house is very actually.

To assess the heartbeat and control over the entire fetal heart rate using different methods:

1. Auscultation
2. Echocardiography
3. Fetal Electrocardiography
4. Cardiotocography
5. Fetal ultrasound examination

We suggest the device is intended for listening to heart and determination of fetal heart rate, which is based on the Doppler effect.

Basis of the Doppler methods is the Doppler effect which consists that an oscillation frequency of the sound waves radiated by a source (transmitter) of a sound, and the frequency of the same sound waves accepted by the sound receiver differ if the receiver and the transmitter move from each other (approach or removed). The same effect is observed if sound source signals after reflection by a moving reflector come to the receiver. This last case takes place at reflection of ultrasonic signals from moving biological structures (for example, blood elements) [1].

The block diagram of the Doppler device for determination of heart rate of a fetus with the intelligent block of processing of signals is given in fig. 1.

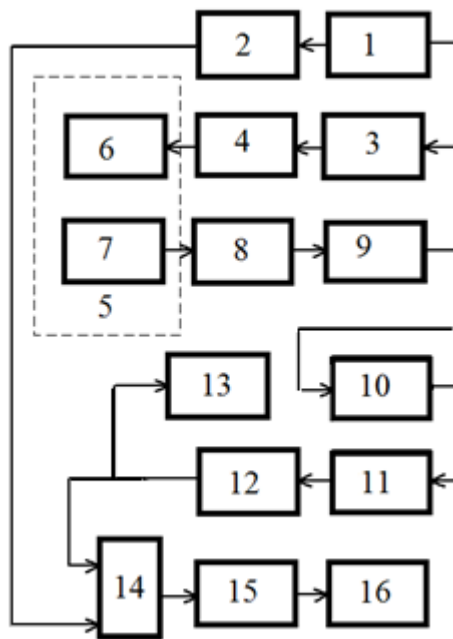


Fig. 1 – The block diagram of the dopler device for an assessment of cardiac activity of a fetus with digital block of a filtration of hums.

1- generator; 2-block test signal; 3 power amplifier; 4-balancing unit; 5 -sensor; the 6-radiating piezoelectric plate; the 7-accepting piezoelectric plate; 8- amplifier of high frequencies; 9- filter band-pass; 10 - digital adaptive filter; 11-amplitude detector; 12- amplifier of low frequencies; 13-sound loudspeaker; 14- switchboard of the mode; 15 microcontroller; 16 display.

The device works as follows:

At turning on of the device the sensor 5 which consists of two pyezoplastin 6 and 7, is installed on the pregnant woman's stomach. The generator 1 constructed on the quartz resonator is necessary for creation of impulses which excite a piezoelectric plate 6. From the generator 1 the electric signal, reinforced in the power amplifier 3, through a balancing unit arrives on a piezoelectric plate 6, in it electric signals will be transformed to ultrasonic waves. Ultrasonic fluctuations through a forward abdominal wall of the pregnant woman get deep into her organism. These fluctuations extend in the woman's organism, being reflected from various acoustic discontinuities, in particular from fetus heart walls.

The signal reflected from a fetus heart wall arrives on a receiving piezoelectric plate 7 in which acoustic signals will be transformed to the electric.

Further the signal arrives on the amplifier of high frequencies 8 who is constructed on a chip of AD744 Analog Devices. The signal from the amplifier of high frequencies contains information not only on frequency heartbeat of a fetus, but also frequency of heartbeat of mother, and also various noise and hindrances, signals reflected from internals of mother. To allocate the signal corresponding to heartbeat of a fetus the filter band-pass 9, OP37 of Analog Devices firm constructed on a chip is used.

By means of the amplitude detector 11 constructed according to the two-stage scheme with the common feed-back the maximal peaks of a signal corresponding to heartbeat of a fetus are allocated. The BP is executed on chips of OP37 and AD744. With a BP the signal arrives on the amplifier of low frequencies 12 for strengthening of frequency of a signal to the range which is perceived by a human ear.

The reinforced signal arrives on the sound loudspeaker 13 by means of which it is possible to listen to heartbeat of a fetus.

Also the signal from the amplifier of low frequencies via the switchboard of the mode arrives on an entrance of the microcontroller 15 in which by means of the firmware timer there is a calculation of the square-wave pulses corresponding to heartbeat. The counted number of impulses is brought to the display 16 on which information on heart rate in beats per minute is displayed.

Accuracy of result at the developed device, mainly, will depend on accuracy of calculation of frequency the microcontroller. Testing function which allows checking a regularity of operation of the device is provided in the developed device.

For its realization the test signal is used:

The signal from the generator arrives on the block of a test signal 2. Further the signal via the switchboard of the mode arrives on an entrance of the microcontroller 14 in which similar to calculations of the cardiac contractions rate calculation of frequency of a test signal is made.

For noise elimination, the bodies of mother created by functioning the adaptive digital filter 10 is injected into the scheme.

The range of signal bears in itself information on the frequency of heartbeat of mother and a fetus, on a blood-groove in veins and arteries, information on functioning of organs of mother and a fetus, and also different network noises and noise which can be estimated as the useful signal. All noises are independent accidental processes which cannot always be removed by means of band pass filters. Therefore the digital adaptive filter of Winer which gives the chance to receive optimum filtering, in view of statistical characteristics of a signal and noise is entered into the device [2].

Distinctive feature of the developed device is the presence of unique filter that reduces interference to the desired signal. The microcontroller provides accurate heart rate calculation. The presence of unit test signal to verify correct operation. The presence in the Wiener filter eliminates noise and interference from the mother's heartbeat and the functioning of the various organs of the mother and fetus.

Advantages of the developed device:

- General availability and simplicity of carrying out research.
- Comfort of procedure: painlessness, lack of express preparation for carrying out research.
- Lack of an adverse effect of ultrasound on an organism of the woman and a fetus that allows to conduct multiple research during pregnancy.
- Research is conducted in real time and gives reliable information about heartbeat of a fetus.
- The developed device allows to listen to heartbeat of a fetus clearly.

References

1. Popechitelev E.P. i dr. Medicinskie pribory, apparaty, sistemy i komplekсы [Tekst]: Uchebник / N.A. Kornelevskij, E.P. Popechitelev, S.P. Seregin; Kursk.gos.tehn.un-t. – Kursk: ОАО «IPP «Kursk», 2009. – 986s. (Physical principles of ultrasound)
2. Rangajjan R.M. Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskij podhod./ Per.s angl. pod red. A.P. Nemirko. – M.:FIZMATLIT, 2007. – 440 s. (Filtering to eliminate artifacts)

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.156

Гапоненко А.М.¹, Каграманова А.А.²

¹Доктор технических наук, профессор, ²ORCID: 0000-0003-4069-4767, аспирант,
Кубанский государственный технологический университет

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Аннотация

Рассмотрена имитационная модель гибридного кластера НВИЭ и определена структура функционала для показателей его эффективности. Предложен «пошаговый» подход к решению задачи нахождения экстремума функции отклика нелинейной модели полного факторного эксперимента.

Описан алгоритм математического анализа многофакторной модели для НВИЭ с учетом случайного характера динамических характеристик.

Предложен метод описания климатических процессов, учитывающий нестационарность их статистических свойств. Суть метода состоит в исключении из исследуемого процесса закономерностей и последующей оценке параметров случайной компоненты. Применение моделей нестационарных случайных процессов на практике позволит снизить неопределенность учета внешних факторов в задачах обоснования схем энергоснабжения на основе ВИЭ и повысить достоверность принимаемых решений.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гибридный энергетический кластер, многофакторная модель, математический анализ.

Gaponenko A.M.¹, Kagramanova A.A.²

¹PhD in Engineering, ²ORCID: 0000-0003-4069-4767, Postgraduate student, Kuban State Technological University
**METHODOLOGY AND ALGORITHM OF MATHEMATICAL ANALYSIS MULTIFACTOR MODELS
OPTIMAL CONFIGURATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Abstract

We consider the simulation model of hybrid renewable energy cluster, and determined the structure of functional for the performance of its effectiveness. Is offered a "step by step" approach to solving the problem of finding the extremum of the response function of the non-linear model of full factorial experiment. The algorithm of mathematical analysis multivariate model for renewable energy taking into account the random nature of the dynamic characteristics. The method of describing climatic processes, taking into account the nonstationarity of their statistical properties. The method consists in the elimination of investigational process regularities and subsequent measurement of parameters the random component. The use of models of nonstationary random processes in practice will reduce the uncertainty taking into account external factors in the problem of energy supply circuits based on renewable energy sources and improve the reliability of decisions.

Keywords: renewable sources of energy, hybrid energy cluster, multifactor model mathematical analysis.

Определим понятие гибридного кластера, как совокупность нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ).

Рассмотрим имитационную модель такого кластера, следуя [1]. В самом общем виде ее можно представить функциональной зависимостью следующего вида [2]

$$G_{\text{кл}} = f[v(A, E, S, M, F); v(d, h, k, p, s, sp); CC_j, U_j], \quad (1)$$

где $G_{\text{кл}}$ – показатель эффективности гибридного кластера; v – совокупность факторов воздействия внешней среды: скорость ветра (ВЭУ), инсоляция (ФЭП, СК), напор, расход (мГЭС), температура НПИ (ТН), режим метангенерации (БГУ); A, E, S, M, F – тип кластера в зависимости от доли замещаемой мощности (кластеры: A – микро; E – мини; S – малый; M – средний; F – полный); d, h, k, p, s, sp – тип кластера в зависимости от вида НВИЭ в системе:

- d – двойной гибрид (ДГ+ВЭУ или ДГ+ФЭП или ДГ+мГЭС и т.п.);

- h – трио-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП или ДГ+ВЭУ+мГЭС);
 - k – quadro-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС);
 - p – пента-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ);
 - s – сикстет-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ);
 - sp – септ-кластер (ДГ+ВЭУ+ФЭП+мГЭС+ТН+БГУ+СК);
- CC_j – себестоимость производства 1 кВт·ч разными видами НВИЭ;
 U_j – стоимость кВт установленной мощности вида НВИЭ.

В общем виде объект исследования можно представить в виде структурной схемы, показанной на рис. 1.

Рассмотрение объекта в виде такой схемы основано на принципе «черного ящика», который имеет следующие группы параметров:

- X_i – управляющие (входные), которые называются факторами;
- Y_i – выходные параметры, которые называются параметрами состояния;
- W_i – возмущающие воздействия.

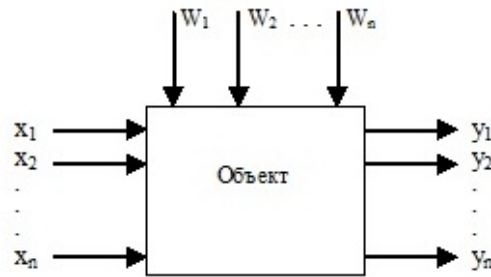


Рис. 1 – Структурная схема объекта исследования

Необходимо учесть, что возмущающие воздействия W_i не поддаются контролю, следовательно, являются случайными или меняющимися во времени (скорость ветра, инсоляция, температура воздуха, грунта, теплоносителя), из-за множества случайных возмущений, и задача идентификации для сложных объектов требует статистических методов для определения динамических характеристик.

Традиционно, для анализа технико-экономических характеристик НВИЭ, оценивающих влияние внешних климатических факторов применяют методы описательной статистики, которые сводятся к комбинированию двух основных подходов: 1) усреднения в пределах длительных интервалов времени, например, среднемесячные и среднегодовые значения; 2) использования статистических распределений, параметры которых также получены усреднением по времени, например, описание ветровых режимов распределением Вейбулла. Наряду с этим реальные геофизические процессы подвержены циклическим колебаниям как кратковременного (суточные циклы), так и долгосрочного характера (годовые циклы). Как правило, климатические данные представлены выборками небольшого объема. Эффективной заменой традиционных методов при малом времени реализации и наличии априорной информации о процессе могут служить параметрические методы, применяемые в радиофизике, экономических и социальных исследованиях [3-11].

Каждый фактор x_i имеет область определения, которая должна быть установлена до проведения эксперимента. Сочетание представленных факторов можно представить как точку в многомерном пространстве, описывающую состояние системы.

В реальных условиях цель многофакторного эксперимента заключается в установлении зависимости

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (2)$$

описывающей поведение объекта. Как правило, функцию (2) строят в виде полинома n -го порядка:

$$y = \sum_{i=1}^n a_{ik} \cdot x_i^i \cdot x_k^k \quad (3)$$

где x_i , x_k , x_{ik} – управляющие параметры, a_i , a_k , a_{ik} – соответствующие коэффициенты, описывающие вклад каждого управляющего параметра.

Построение зависимостей (2) в виде (3) при минимальном количестве измерений значений управляющих параметров, обеспечивающих достоверность описания является целью многофакторного эксперимента.

Известно, что оборудование на любом объекте, обеспечивающее его энергоэффективность имеет динамические характеристики. Следовательно, входные факторы и параметры объекта зависят от времени, что усложняет задачу, делая ее нестационарной.

Главная практическая задача заключается в определении оптимальных условий для исследуемого объекта. Как правило, при многофакторном эксперименте необходимо найти значения факторов x_i , x_k , $x_{i,k}$ таких, при которых отклик системы принимает значения y_{\max} или y_{\min} . Таким образом, построенная целевая функция отклика (3) исследуется на экстремум и задача оптимизации сводится к определению множества $\{x_{i \text{ опт}}, x_{k \text{ опт}}, x_{i,k \text{ опт}}\}$ управляющих параметров, обеспечивающих экстремум целевого функционала.

При этом на значения факторов накладываются дополнительные ограничения, диктуемые условиями эксплуатации гибридного кластера

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k) \{ \leq \text{ или } \geq \} R_i \quad (4)$$

Таким образом, задачей оптимизации является нахождение экстремума функции отклика при условии, что сама функция априори неизвестна. Один из возможных вариантов: экстремум будет означать минимальную стоимость

оборудования, входящего в рассматриваемый кластер НВИЭ, при минимальном сроке окупаемости комплекса при условии, что функционирование кластера обеспечивает необходимую потребляемую энергию. В качестве критерия эффективности проектного решения можно принять критерий минимального разброса стоимости одного кВт·ч отпускаемой кластером электроэнергии при заданном простом сроке окупаемости.

Эта задача может быть решена многими способами:

1. Посредством полного факторного эксперимента строится нелинейная модель функции отклика, и затем у этой функции находится экстремум. Такая модель может оказаться сложной и потребовать большого количества опытов, так как требования нахождения ее экстремума создают необходимость проведения полного факторного эксперимента в широком диапазоне варьирования и при большом числе опытов.

2. Наиболее практически приемлемым оказывается «пошаговый» подход к решению задачи нахождения экстремума. При этом эксперимент проводится в ограниченной области, то есть используется конкретный набор возмущающих воздействий W_i (скорость ветра, инсоляция). Определяется направление роста функции отклика (при нахождении максимума) или направление падения функции отклика (при нахождении минимума). Далее эксперимент проводится в следующей области и т.д. Таким образом, проводится последовательный поиск экстремума функции отклика. В этом случае задача оптимизации может быть решена без полного описания функции отклика во всей области варьирования факторов. Пошаговое движение происходит до падения функции в частный оптимум (экстремум функции в выбранном направлении).

В итоге пошагового движения обоими методами определяем квазистационарную область, близкую к точке оптимума. Эта область априори не может быть описана гиперплоскостью и требует описания в виде нелинейной модели (гиперболоида, параболоида и т.д.)

Определить оптимальную конфигурацию кластера НВИЭ для различных мощностей позволяет использование многофакторной модели.

Рассмотрим частный случай, когда один из источников энергии не зависит от случайных возмущений (например, работу дизеля). Назовем такой источник гарантированным. Работа оставшихся источников НВИЭ подвержена случайным возмущениям (например, использование ветровой и солнечной энергии). Такие источники назовем стохастическими.

Обозначим: a – количество электроэнергии, вырабатываемое кластером (в единицу времени); b – допустимый уровень средней стоимости 1 кВт·ч, вырабатываемого кластером; r_0 – стоимость эксплуатации гарантированного источника за единицу времени (содержится как стоимость оборудования, так и стоимость обслуживания); r_k – стоимость эксплуатации в течение часа k -типа оборудования из остальных стохастических источников; g_0 – доля (от a), вырабатываемая гарантированным источником; g_k – доля (от a), вырабатываемая k -стохастическим источником.

Измеряемые случайные величины: Z_k – количество энергии, вырабатываемой за единицу времени k -стохастическим источником.

Пусть для каждой из случайных величин Z_k имеется выборка из N наблюдений.

Вычисляемые (по выборке для Z_k) случайные величины:

$$Y_k = r_k / Z_k \quad (5)$$

где Y_k – стоимость энергии, произведенного k -стохастическим источником в единицу времени.

Далее получим для каждой из случайных величин Y_k выборку, также состоящую из N наблюдений:

$$Y/a = g_0 r_0 + g_1 Y_1 + g_2 Y_2 + \dots + g_n Y_n \quad (6)$$

где Y/a – стоимость энергии, вырабатываемой кластером за единицу времени (это случайная величина, тогда как первое слагаемое в правой части – неслучайно).

Находим для Y_k по выборкам: m_k – средняя стоимость энергии, вырабатываемой k -источником за единицу времени (выборочное среднее по Y_k); m_2 – средняя стоимость 1 кВт·ч, вырабатываемого солнцем (выборочное среднее по Y_2);

$$m = M(Y/b) = g r_0 + g_1 m_1 + g m_2 \quad (7)$$

где m – средняя стоимость энергии, вырабатываемой кластером за единицу времени; b – допустимый уровень средней стоимости 1 кВт·ч, вырабатываемого кластером ($b < r_0$).

Для объективного учета возмущающих воздействий, основным свойством которых является нестационарный случайный характер необходимо применять методы анализа нестационарных случайных процессов [12].

Следовательно, детерминирующую составляющую таких процессов можно описать функцией

$$a(t) = (1 + M \cos(\Omega t + \psi)) \Phi(t), \quad (8)$$

где $\Phi(t)$ – периодическая последовательность суточных колебаний; M , Ω , ψ – амплитуда, частота и фазовый угол годовых колебаний.

Воздействие детерминированных факторов на случайный процесс в общем виде можно описать комбинацией аддитивной (9) и мультипликативной (10) моделей:

$$x(t) = a(t) + u(t) \quad (9)$$

$$x(t) = a(t)u(t) \quad (10)$$

где $u(t)$ – реализация стационарного случайного процесса; $a(t)$ – детерминированная функция.

Исключив детерминированную составляющую, оставшуюся часть можно считать случайной компонентой. Статистические свойства случайной составляющей процесса можно оценить, используя традиционно применяемые методы теории вероятности и математической статистики.

После определения закономерностей их можно исключить из исследуемых процессов. На этом этапе необходимо выбрать параметры модели, комбинируя зависимости (8) и (9). Эффективность мультипликативной и аддитивной моделей в исследуемом случайном процессе можно оценить по косвенным признакам, характерным для этих двух

типов моделей [4]. В результате были получены формулы (11, 12, 13), выражающие соотношения детерминированной и случайной компонент для процессов изменения интенсивности солнечного излучения, температуры наружного воздуха и скорости ветра соответственно.

$$x(t) = (a(t) + A)u(t) + a(t)k \quad (11)$$

$$x(t) = u(t) + a(t) \quad (12)$$

$$x(t) = (a(t) + A)u(t) - B + a(t)k \quad (13)$$

где A, B, k – параметры моделей, определяющие соотношение детерминированной и случайной компоненты.

Остатки процессов изменения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечного излучения хорошо описываются нормальным распределением. Распределение случайной компоненты изменений скорости ветра имеет асимметричную форму и с приемлемой точностью описывается функцией Вейбулла.

Выводы:

1. Рассмотрена имитационная модель гибридного кластера НВИЭ и определена структура функционала для показателей его эффективности.
2. Предложен «пошаговый» подход к решению задачи нахождения экстремума функции отклика нелинейной модели полного факторного эксперимента.
3. Описан алгоритм математического анализа многофакторной модели для НВИЭ с учетом случайного характера динамических характеристик.
4. Предложен метод описания климатических процессов, учитывающий нестационарность их статистических свойств. Суть метода состоит в исключении из исследуемого процесса закономерностей и последующей оценке параметров случайной компоненты. Применение моделей нестационарных случайных процессов на практике позволит снизить неопределенность учета внешних факторов в задачах обоснования схем энергоснабжения на основе ВИЭ и повысить достоверность принимаемых решений.

Литература

1. Велькин В.И., Логинов М. И. Выбор оптимального состава оборудования в кластере возобновляемых источников энергии на основе регрессионного анализа // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». №03 (107). 2012. С. 100-104.
2. Гапоненко А. М., Каграманова А. А. Оптимизация состава комплекса возобновляемых источников энергии с использованием кластерного подхода и теории случайных процессов / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №02(116). С. 94 – 109. – IDA [article ID]: 1161602005. – Режим доступа: <http://goo.gl/IfkmOL>
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного анализа и спектрального анализа: Пер. с англ. М.: Мир, 1983.
6. Бокс ДЖ., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974.
7. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. Пособие для вузов. 2-у изд., стер. М.: Высш. Шк., 2000.
8. Евланов Л.Г., Константинов В.М. Системы со случайными параметрами. М.: Наука, 1976.
9. Рытов С.М. Введение в статическую радиофизику. Ч.1. Случайные процессы. М.: Наука, 1976.
10. Рытов С.М. Модулированные колебания и волны // Труды Физ. Института АН СССР. 1940. Т. 2, вып. 1.
11. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э. Фигурнова. 3-е изд., перераб. И доп. М.: ИНФРА-М, 2003.
12. Щеклеин С.Е., Власов В.В. Моделирование нестационарных случайных процессов в задачах обоснования возобновляемых источников энергии // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». №03 (107). 2012. С. 67-71.

References

1. Vel'kin V.I., Loginov M. I. Vybora optimal'nogo sostava oborudovaniya v klasterе vοzοbνοvljaemyh istochnikov jenerгии na οsnove regressiοnnοgo analiza // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija». №03 (107). 2012. S. 100-104.
2. Gaponenko A. M., Kagramanova A. A. Optimizacija sostava kompleksa vοzοbνοvljaemyh istochnikov jenerгии s ispol'zovaniem klasterного podhoda i teorii sluchajnyh processov / Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №02(116). S. 94 – 109. – IDA [article ID]: 1161602005. – Rezhim dostupa: <http://goo.gl/IfkmOL>
3. Anderson T. Staticheskij analiz vremennyh rjadov. M.: Mir, 1976.
4. Bendat Dzh., Pirsol A. Prikladnoj analiz sluchajnyh dannyh: Per. s angl. M.: Mir, 1989.
5. Bendat Dzh., Pirsol A. Primenenie korrelyacionnogo analiza i spektral'nogo analiza: Per. s angl. M.: Mir, 1983.
6. Boks DZh., Dzenkins G. Analiz vremennyh rjadov. Prognoz i upravlenie. M.: Mir, 1974.
7. Ventcel' E.S. Teorija sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozhenija. Ucheb. Posobie dlja vtuzov. 2-u izd., ster. M.: Vyssh. Shk., 2000.
8. Evlanov L.G., Konstantinov V.M. Sistemy so sluchajnymi parametrami. M.: Nauka, 1976.
9. Rytov S.M. Vvedenie v staticheskiju radiofiziku. Ch.1. Sluchajnye processy. M.: Nauka, 1976.
10. Rytov S.M. Modulirovannye kolebanija i volny // Trudy Fiz. Instituta AN SSSR. 1940. T. 2, vyp. 1.
11. Tjurin Ju.N., Makarov A.A. Analiz dannyh na komp'jutere / Pod red. V.Je. Figurnova. 3-e izd., pererab. I dop. M.: INFRA-M, 2003.
12. Shheklein S.E., Vlasov V.V. Modelirovanie nestacionarnyh sluchajnyh processov v zadachah obosnovanija vοzοbνοvljaemyh istochnikov jenerгии // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija». №03 (107). 2012. S. 67-71.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.193

Гапоненко А.М.¹, Каграманова А.А.²¹Доктор технических наук, профессор, ²ORCID: 0000-0003-4069-4767, аспирант,

Кубанский государственный технологический университет

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**Аннотация**

Рассмотрены гибридные энергоэффективные системы энергоснабжения (ЭСЭ), состоящие из традиционных и нетрадиционных моноэнергетических возобновляемых источников энергии (МВИЭ) с точки зрения оптимизации их работы, основанной на знаниях технических и функциональных особенностей каждого. Для построения ЭСЭ, предложен метод, использующий теорию оптимального управления и получен в общем виде соответствующий функционал для оптимизации. Разработана методика расчета экономической эффективности использования энергии солнечной радиации для преобразования в электрическую и тепловую. Основываясь на энергетических характеристиках МВИЭ в конкретных климатических условиях и параметрах энергетических установок потребления энергии, с учетом ограничений полученных на основе исследования на минимум целевого функционала, найдена возможность в рамках данной модели строить ЭСЭ с оптимальными параметрами.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гибридный энергетический кластер, энергоэффективные системы энергоснабжения.

Gaponenko A.M.¹, Kagramanova A.A.²¹PhD in Engineering, professor, ²ORCID: 0000-0003-4069-4767, Postgraduate student,

Kuban State Technological University

METHOD OF DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF ENERGY EFFICIENT OF POWER SUPPLY SYSTEMES**Abstract**

Examined energy-efficient hybrid (ESE) power supply systems consisting of conventional and non-conventional renewable energy monoenergetic (MVIE) in terms of optimizing their performance, based on knowledge of technical and functional characteristics of each. In order to construct ESE proposed a method that uses the theory of optimal control and received corresponding functional for optimization in a general view. A method for calculating of the economic efficiency of using solar radiation energy for conversion into electricity and heat. Based on energy characteristics of MVIE in specific climatic conditions and parameters of the power plants in energy consumption, subject to restrictions obtained on the basis the research to the minimum objective functional, been found the opportunity to build ESE with optimal parameters in the model.

Keywords: renewable sources of energy, hybrid energy cluster, energy efficiency power supply systems.

В настоящее время, перед российской возобновляемой энергетикой стоят задачи, требующие обновленного метода в решении проблемы устойчивого гарантированного и экономически целесообразного обеспечения энергией для удаленных объектов, регионов, территорий.

Введем понятие моноэнергетического возобновляемого источника энергии (МВИЭ), как источника энергии, в основе работы которого лежит некоторый определенный принцип преобразования конкретного вида энергии в электрическую либо тепловую.

Среди МВИЭ широко распространены ветроэнергетические (ВЭ), малые гидроэнергетические (МГЭС), солнечные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), биогазовые установки (БГУ), дизель-генераторы (ДГ), а в числе нетрадиционных источников энергии в виде тепла – солнечные коллекторы (СК), тепловые насосы (ТН) с использованием низкопотенциального тепла грунта, сбросных вод очистных сооружений, тепловых стоков промышленных отходов или просто окружающего воздуха вплоть до небольших отрицательных температур.

МВИЭ применяются в тех случаях, когда соблюдается определенный набор условий (погодных, географических и т.д.), обеспечивающих их относительно бесперебойную работу. В реальности соблюдение таких условий является достаточно редким, и именно это обстоятельство в значительной мере служит препятствием для широкого внедрения МВИЭ. В качестве выхода предлагается использование гибридных систем, содержащих различные виды МВИЭ. Выше указанные источники энергии могут использоваться в различной конфигурации в составе гибридных установок, состоящих из дизель- или газогенератора (для гарантированного обеспечения энергией) и вариативного набора МВИЭ.

Однако, использование таких гибридных систем в каждом случае требует оптимизации, основанной на знании технических и функциональных особенностей каждого из МВИЭ, входящего в состав гибридной системы. В данной работе предпринимается попытка разработать методику такой оптимизации при помощи кластерного подхода [1,2].

Кроме того, необходимо учесть случайные факторы, указанные выше, влияющие на работу гибридных систем МВИЭ [3].

Известны гибридные ветро-солнечные, ветро-дизельные и дизель-ветро-солнечные установки, использующие два и три МВИЭ (соответственно, дуплекс и трио-системы). Следовательно, теоретически возможно наращивание резервирования систем с учетом местных, региональных или территориальных возможностей, до quadro- (четырёх), пента- (пяти), сикстет- (шести), септ- (семи) видов МВИЭ в соответствующие кластеры (кластер – группа объектов с общими признаками).

Различные сочетания-кластеры могут быть востребованы только при определенных условиях (наличии соответствующих источников энергии), их рентабельность зависит от определенного выбора видов МВИЭ, соотношения замещаемых каждым МВИЭ мощностей и возможностей заказчика.

Для изучения вопроса о соотношении мощностей целесообразно использовать распределение кластеров МВИЭ на типы. Условно возможно распределить кластеры на типы [1]:

1. микро-кластер;
2. мини-кластер;
3. малый;
4. средний;
5. полный.

Каждый из выше указанных типов должен надежно обеспечить определенный уровень мощности (долю энергетических потребностей) от полной потребности в энергозатратах объекта, независимо от отсутствия какого-либо источника энергии (табл. 1).

Таблица 1 – Доля обеспечения мощности в зависимости от типа кластера

Тип кластера	Обозначение	Доля обеспечения мощности, %
Полный(Full)	F	100
Средний(Middle)	M	50
Малый(Small)	S	20
Мини-кластер(Emergency)	E	10
Микро-кластер(Aesthete)	A	5

Используя данную классификацию с долями обеспечения энергетических затрат необходимо понимать, что «полный кластер» F обеспечивает уровень, соответствующий 100 % потребностей каждого потребителя, а тип «aesthete» (или микро-кластер A) создает условия обеспечения только 5% потребностей, которые могут обеспечить эстетическое освещение территории, но при возникновении аварийной ситуации может не хватить (например, функционирование мощной помпы при тушении пожара).

В качестве объектов потребления, использующих какой-либо вид кластеров, могут быть: отдельный дом-коттедж (F 10 кВт), многоквартирный дом (F 100 кВт), жилой поселок (F 200-500 кВт), микрорайон (F 500-10000 кВт), промышленное предприятие любой мощности и т.д. В соответствии с распределением кластеров на типы: микро-кластер «А» должен обеспечить для дома-коттеджа мощность 500 Вт, для многоквартирного дома 5кВт, для жилого поселка 10-25 кВт и т.д.

Оптимизация внутренней структуры по типам МВИЭ и мощностям является главным условием эффективности при построении энергетической системы на основе кластерного подхода. Решение данной задачи возможно при использовании многофакторного регрессивного анализа [2]. При «долевом» распределении между установками МВИЭ необходимо учесть, что гибридный энергетический кластер в любой момент времени должен обеспечить надежное покрытие нагрузок, соответствующим мощностям, представленным в табл. 1.

Оптимизация внутренней структуры кластера по типам и мощностям означает выбор установленной мощности для каждого вида оборудования МВИЭ, входящего в состав кластера гибридной энергосистемы.

Например, для микро-кластера А необходимой гарантированной долей (в соответствии с табл. 1) будут являться 5%, которые должен обеспечить дизель-генератор. Одновременно «гибридность» микро-кластера должна быть поддержана в дуплекс-системе ветроустановкой соответствующей мощности, покрывающей те же 5% потребностей, либо другим видом МВИЭ.

Возможные сочетания МВИЭ по типам кластеров и долям мощности представлены в [4].

Для построения систем эффективного энергоснабжения необходима выработка основных принципов их построения, описанных выше. В настоящее время энергоснабжение осуществляется главным образом за счет использования углеводородного топлива [5]. Однако постоянный рост затрат на их добычу снижает эффективность энергообеспечения, и обуславливает необходимость совершенствования существующих системы энергоснабжения. Наиболее предпочтительным представляется оптимальное сочетание традиционных и возобновляемых энергоресурсов в энергоэффективных системах энергоснабжения (ЭСЭ) [6]. Для построения таких ЭСЭ в основу будет положен метод, использующий теорию оптимального управления. Недостаточные исследования в этом направлении сдерживают развитие систем энергоснабжения, использующих МВИЭ. Построение соответствующего функционала является целью данной работы.

Предположим, что в составе ЭСЭ присутствуют как традиционные источники энергоснабжения Q_s , так и источники возобновляемых видов энергии Q_{vi} , причем в самом общем случае таких источников может быть несколько:

$$Q_v = \sum_{i=1}^N k_i \cdot Q_{vi}, \quad (1)$$

где N число МВИЭ, k_i коэффициент, учитывающий удельный вклад каждого МВИЭ. Таким образом, общее количество энергии поступающей от всех видов источников выразится формулой:

$$Q = Q_v + Q_s \quad (2)$$

Далее следует отметить, что при исследовании ЭСЭ необходимо определить ожидаемую энергию от МВИЭ. При этом необходимо учитывать энергетические характеристики источника q_i и исследовать режимы поступления возобновляемой энергии. Обязательным условием является учет случайного характера поступающей возобновляемой энергии. Можно предложить следующую формулу:

$$Q_{vi} = f_i(t) \cdot w_i(t) \cdot q_i, \quad (3)$$

где $f_i(t)$ - некоторая эмпирическая функция времени, определяющая режимы поступления энергии от данного МВИЭ, $w_i(t)$ - вероятностный коэффициент, учитывающий случайный характер МВИЭ, q_i - энергетические характеристики источника.

В качестве основного метода рационального использования расширенного комплексного применения различных видов МВИЭ (кластеров) с учетом природно-климатического потенциала определенного региона.

В зависимости от потребностей и возможностей заказчик (частные лица, мелкие производители, муниципалитеты) на удаленных территориях сам может выбрать тип кластера и соотношения по видам МВИЭ. В связи с этим мотивацией для роста интереса к МВИЭ является рост стоимости органических топлив, ограниченность их запасов на планете и объективный вектор на постепенное снижение удельных затрат при использовании МВИЭ в мире.

Для определения условий эффективного функционирования ЭСЭ введем стоимостные коэффициенты G_s и G_{vi} единицы энергии для подсистем энергоснабжения от традиционных и возобновляемых источников соответственно. Тогда стоимость поступающей энергии выразится формулой:

$$G = G_s \cdot Q_s + \sum_{i=1}^N G_{vi} \cdot Q_{vi} \quad (4)$$

В данном случае подсистема энергоснабжения от МВИЭ рассматривается как дополнительный источник в ЭСЭ и покрывает только часть потребной энергии в соответствии с кластерным подходом. Пусть для полноценного функционирования потребляющего энергию объекта требуется количество энергии - Q_n . Введем коэффициент определяющий долю энергии, замещаемой возобновляемым источником:

$$z(t) = \frac{Q_v(t)}{Q_n(t)} \quad (5)$$

Зависимость от времени в данной формуле обусловлена тем, что потребляемая энергия может быть изменчива во времени и носить случайный характер, как и сама выработка от подсистемы МВИЭ [7]. Тогда для эффективного энергоснабжения от МВИЭ необходимо согласование источника энергии с потребителем.

Вырабатываемая энергия зависит от параметров энергоустановок. При этом требуется исследование условий функционирования подсистемы МВИЭ в составе ЭСЭ как недостаточно изученного элемента системы, а именно важно определить те параметры, которые влияют на эффективность использования подсистемы МВИЭ в составе ЭСЭ.

Рассмотрим в качестве примера расчет экономической эффективности использования энергии солнечной радиации для преобразования в электрическую (ФЭП) и тепловую (СК). Используем формулу [8]:

$$P'_0 = \frac{H_0}{t_s} = \frac{G_0}{\pi} \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s' + \frac{2\pi \omega_s'}{360} \sin \varphi \cdot \sin \delta \right], \quad (6)$$

где

– P'_0 – суммарная солнечная радиация, приходящаяся на горизонтальную поверхность вне атмосферы в единицу времени (мощность суммарной солнечной радиации);

– H_0 – суммарная солнечная радиация, приходящаяся на горизонтальную плоскость вне атмосферы;

– G_0 – солнечная постоянная вне атмосферы (1.340 Вт/м^2);

– φ – географическая широта местности;

– $\delta = \frac{23.45}{180} \cdot \pi \cdot \sin \left[\frac{284+n}{365} \cdot 2 \cdot \pi \right]$ – склонение, n – номер дня года;

– t_s – продолжительность дня в секундах;

– $\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta)$ – часовой угол на закате в градусах.

Вводим поправку на эллиптичность орбиты [8], тогда

$$P_0 = P'_0 \cdot \left[1 - e \cdot \cos \frac{360n}{365} \right], \quad (7)$$

$e=0,033$ – эксцентриситет орбиты.

Учтем атмосферу, как препятствие, для этого введем индекс ясности K_T :

$$K_T = \frac{P}{P_0},$$

где P – суммарная мощность солнечной радиации, пришедшая на горизонтальную площадку на поверхности Земли;

Мощность солнечной радиации на горизонтальную плоскость с учетом атмосферы:

$$P = K_T \cdot P_0. \quad (8)$$

Введем угол наклона солнечной батареи β , тогда с учетом угла наклона [8]:

$$P_\beta = \left[\frac{P-P_D}{P} \cdot R + \frac{P_D}{P} \cdot \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \rho \cdot \frac{1-\cos\beta}{2} \right] \cdot P \quad (9)$$

где:

– ρ – альbedo местности;

– P_D – доля диффузионной радиации, для нахождения которой используем формулу (1)

$$P_D = (A - B \cdot K_T + C \cdot K_T^2 - D \cdot K_T^3) P = K'_T \cdot P,$$

где введено обозначение:

$$K'_T = (A - B \cdot K_T + C \cdot K_T^2 - D \cdot K_T^3) \cdot P$$

Численные коэффициенты: $A=1,39$; $B=4,03$ $C=5,53$ $D=3,11$ в соответствии с [8].

Преобразуем выражение (9):

$$P_\beta = \left[(1 - K'_T) \cdot R + K'_T \cdot \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1-\cos\beta}{2} \right] \cdot P \quad (10)$$

Обозначим

$$\Theta = \left[(1 - K'_T) \cdot R + K'_T \cdot \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1-\cos\beta}{2} \right],$$

Тогда (10) приобретает вид

$$P_\beta = \Theta \cdot K_T \cdot P_0 = \Theta \cdot K'_T \cdot P'_0 \cdot \left[1 - e \cdot \cos \frac{360n}{365} \right], \quad (11)$$

Для краткости обозначим

$$\Phi = K'_T \cdot P'_0 \cdot \left[1 - e \cdot \cos \frac{360n}{365} \right]$$

Тогда (11) преобразуется в:

$$P_\beta = \Theta \cdot \frac{G_0}{\pi} \cdot \Phi \quad (12)$$

Итак, получено выражение для P_β – полной мощности солнечной радиации, падающей на солнечную батарею, расположенную под угол β .

Выходящая мощность электрической энергии, генерируемая солнечной батареей на поверхности Земли в конкретной географической точке:

$$P_{\text{вых}} = \eta_\beta \cdot P_\beta \quad (13)$$

где η_β – КПД солнечной батареи при преобразовании солнечной радиации в электрическую энергию, с учетом (12)

$$P_{\text{вых}} = \eta_\beta \cdot \Theta \cdot \frac{G_0}{\pi} \cdot \Phi \quad (14)$$

Таким образом, мы получили выражение для электрической энергии, вырабатываемой солнечной батареей в единицу времени.

Стоимость этой энергии можно вычислить, если известно стоимость 1 Дж электрической энергии. Обозначим эту величину $G_{\text{вэ}}$. Тогда в рублевом денежном выражении формула (последняя) приобретет вид:

$$J_{\text{сэ}} = \eta_\beta \cdot \Theta \cdot \frac{G_0}{\pi} \cdot \Phi \cdot G_{\text{вэ}}. \quad (15)$$

Полученная формула определяет стоимость электрической энергии, вырабатываемой солнечной батареей в единицу времени.

Аналогично можно получить оценку при преобразовании солнечной энергии в тепловую. Для этого в формуле (13) необходимо использовать соответствующий КПД η_τ , и соответствующую стоимость единицы тепловой энергии. Тогда

$$J_{\text{ст}} = \eta_\tau \cdot \Theta \cdot \frac{G_0}{\pi} \cdot \Phi \cdot G_{\text{вт}}. \quad (16)$$

Введем название для полученных величин – денежные потоки при преобразовании солнечной энергии в электрическую $J_{\text{сэ}}$ и тепловую соответственно $J_{\text{ст}}$.

Вырабатываемую энергию от ФЭП и СК можно определить на основе приведенной детерминированной модели.

Результаты функционирования энергоустановки могут носить случайный характер из-за изменчивости во времени поступающей возобновляемой энергии [3]. Следовательно, вырабатываемую энергию также следует ожидать с долей вероятности.

Соотношение, выражающее энергетический баланс ЭСЭ, имеет вид, с учетом (2):

$$Q_\Pi = Q_s + Q_v \quad (17)$$

Отсюда:

$$Q_s = Q_v \cdot \left(\frac{1}{z(t)} - 1 \right) \quad (18)$$

Тогда целевой функционал исследуемой ЭСЭ с использованием МВИЭ представим, используя (1) – (5) как:

$$G = G_s \cdot \left(\frac{1}{z(t)} - 1 \right) \cdot \sum_{i=1}^N k_i \cdot f_i(t) \cdot w_i(t) \cdot q_i + \sum_{i=1}^N G_{vi} \cdot f_i(t) \cdot w_i(t) \cdot q_i \quad (19)$$

Для решения поставленной задачи необходимо исследовать полученный функционал на минимум.

Для этого необходимо определить основные введенные параметры ЭСЭ. Исследуемые параметры должны отражать влияние климатических, технических и экономических факторов на условия энергообеспечения потребителей [9] для всех используемых в ЭСЭ МВИЭ.

Очевидно, что для решения поставленной задачи необходимы функциональные зависимости всех введенных выше величин, как от времени, так и от других факторов. Основная информация о режимах работы ВИЭ содержится в величинах $f_i(t)$ и $w_i(t)$. Выше было указано, что их конкретные зависимости можно сформировать эмпирически, основываясь на статистических данных. Аналогичный подход является единственно возможным и для $Q_\Pi(t)$.

Таким образом, для дальнейших исследований принципиально важным является использование существующих или наработка новых статистических данных позволяющих установить в том или ином виде функциональные зависимости указанных выше величин.

Коэффициент, определяющий долю энергии, замещаемой возобновляемым источником $z(t)$ в данной модели может задаваться исходя из соотношения стоимости энергии получаемой от традиционных источников и стоимости энергии получаемой от МВИЭ, что определяет вид кластера в соответствии с табл. 1.

Результатом использования предложенной методики построения энергоэффективных систем энергоснабжения должны стать разработки различных режимов и схем согласования МВИЭ с потребляемым энергией объектом. При этом важно для согласования вырабатываемой и потребляемой энергии определить удобный расчетный период, когда соответствующие исходные данные для анализа не подвержены стохастической изменчивости во времени.

Для этого необходимо выявить повторяющиеся циклы в нестационарном процессе. Соответствующий анализ показывает, что хотя внутри суток и года случайный характер имеет место, однако суточная и годовая сумма рассматриваемой энергии носит более устойчивый характер.

Таким образом, рассматривая энергетические характеристики МВИЭ в конкретных климатических условиях и параметры энергетических установок потребления энергии, с учетом ограничений полученных на основе исследования на минимум целевой функции G , мы можем в рамках данной модели строить ЭСЭ с оптимальными параметрами.

Литература

1. Велькин В. И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. – №02 (106). С. 61-66.
2. Велькин В. И., Логинов М. И. Выбор оптимального состава оборудования в кластере возобновляемых источников энергии на основе регрессионного анализа // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. – №03 (107). С. 100-104.
3. Щеклеин С. Е., Власов В. В. Моделирование нестационарных случайных процессов в задачах обоснования возобновляемых источников энергии // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. – №03 (107). С. 67-71.
4. Гапоненко А. М., Каграманова А. А. Оптимизация состава комплекса возобновляемых источников энергии с использованием кластерного подхода и теории случайных процессов / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №02(116). С. 94 – 109. – IDA [article ID]: 1161602005. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/05.pdf>.
5. Амерханов Р. А., Драганов Б. Х. Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства: Учеб. для вузов / Под ред. Б. Х. Драганова. – Краснодар: 2001. – 200 с.
6. Шерьязов С. К. Основы исследования системы энергосбережения с использованием возобновляемых источников. / Шерьязов С. К., Велькин В. И., Семенов А. Ю., Чернов Н. А. // «Альтернативная энергетика и экология», – 2012. – №4. С.147-149.
7. Фортов В. Е., Попель О. С. Энергетика в современном мире. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 146с.
8. Сивков С.И. Методы расчёта характеристик солнечной радиации. - JL: Гидрометеиздат, – 1968. - 185 с.
9. Велькин В. И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012. - №2. С.61-66.

References

1. Vel'kin V. I. Optimizacija vybora jenergoobespechenija na osnove klasternogo podhoda v ispol'zovanii vozobnovljaemyh istochnikah jenerгии // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija». – 2012. – №02 (106). S. 61-66.
2. Vel'kin V. I., Loginov M. I. Vybora optimal'nogo sostava oborudovanija v klastere vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии na osnove regressionnogo analiza // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija». – 2012. – №03 (107). S. 100-104.
3. Shheklein S. E., Vlasov V. V. Modelirovanie nestacionarnyh sluchajnyh processov v zadachah obosnovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija». – 2012. – №03 (107). S. 67-71.
4. Gaponenko A. M., Kagramanova A. A. Optimizacija sostava kompleksa vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии s ispol'zovaniem klasternogo podhoda i teorii sluchajnyh processov / Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №02(116). S. 94 – 109. – IDA [article ID]: 1161602005. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/05.pdf>.
5. Amerhanov R. A., Draganov B. H. Proektirovanie sistem teplosnabzhenija sel'skogo hozjajstva: Ucheb. dlja vuzov / Pod red. B. H. Draganova. – Krasnodar: 2001. – 200 s.
6. Sher'jazov S. K. Osnovy issledovanija sistemy jenergosberezhenija s ispol'zovaniem vozobnovljaemyh istochnikov. / Sher'jazov S. K., Vel'kin V. I., Semenov A. Ju., Chernov N. A. // «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija», – 2012. – №4. S.147-149.
7. Fortov V. E., Popel' O. S. Jenergetika v sovremennom mire. Dolgoprudnyj: Izdatel'skij dom «Intellect», 2011. – 146s.
8. Sivkov S.I. Metody raschjota harakteristik solnečnoj radiacii. - JL: Gidrometeoizdat, – 1968. - 185 s.
9. Vel'kin V. I. Optimizacija vybora jenergoobespechenija na osnove klasternogo podhoda v ispol'zovanii vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija». – 2012. - №2. S.61-66.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.207

Гирфанов В.И.¹, Майстренко И.Ю.², Зиннуров Т.А.³, Майстренко Т.И.⁴

¹Эксперт в области промышленной безопасности, ООО Инженерно-технический центр «Кран», г. Казань,
²Кандидат технических наук, ³Кандидат технических наук, ⁴Студентка института транспортных сооружений,
 ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ФЕРМ НА ДЕЙСТВИЕ МГНОВЕННОГО ИМПУЛЬСА МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

Аннотация

В работе предложен подход к решению сложной инженерной задачи, связанной с воздействием на конструкцию импульсной нагрузки. В качестве примера рассмотрена однопролетная статически неопределимая ферма. Данный подход основан на алгоритме последовательного приближения, поскольку замкнутое аналитическое решение подобных задач практически невозможно. Рассмотренный пример расчета иллюстрирует реальные возможности предложенного авторами алгоритма.

Ключевые слова: статически неопределимая ферма, динамическая нагрузка, мгновенный импульс, последовательное приближение.

Girfanov V.I.¹, Maystrenko I.Yu.², Zinnurov T.A.³, Maystrenko T.I.⁴

¹Expert in the field of industrial safety, Engineering and technical center «Kran» ltd., Kazan, ²PhD in Engineering,
³PhD in Engineering, ⁴student of transport constructions institute, Kazan state architecture and building university

ANALYSIS OF STATICALLY INDETERMINATE FRAMES TO THE ACTION OF INSTANTANEOUS IMPULSE METHOD OF SUCCESSIVE APPROXIMATIONS

Abstract

In this paper are solved complex engineering challenges associated with the impact on the design of the pulse load. As an example, the single-span statically indeterminate frame. This approach is based on an algorithm of successive approximations, as a closed analytical solution of such problems is almost impossible. This example illustrates the real possibilities calculation of the proposed algorithm authors.

Keywords: statically indeterminate frame, dynamic load, instantaneous impulse, successive approximation.

В работе [1] указывалось, что уравнения усилий в стержнях фермы при действии мгновенного импульса от действия, например, динамической крановой нагрузки, не будут линейными ни относительно площадей поперечных сечений этих стержней, ни относительно усилий в лишней стержнях.

Поэтому нельзя заранее определить ни значения лишней неизвестных, соответствующих минимуму веса фермы, ни значения динамических составляющих нагрузок. В этих условиях наиболее целесообразным представляется применение метода последовательных приближений.

Усилие в любом стержне статически неопределимой фермы при действии мгновенного импульса может быть представлено как

$$N_k = N_{ko} + \sum_i N_{ki} X_i + N_{k\gamma} \pm \omega \sum_j N_{kj} S_j, \quad (1)$$

где N_{ko} – усилие от статической нагрузки в основной системе, ω – частота собственных колебаний, которая определяется

$$\omega = \sqrt{\frac{g \sum_j m_j y_j}{\sum_j m_j y_j^2}}, \quad (2)$$

S_j – мгновенный импульс, приложенный в j -ом узле фермы.

Как указано в работе [2] при действии мгновенного импульса необходимо стремиться к «наиболее гибкой» ферме. В ходе последовательного приближения необходимо подобрать такие усилия в лишней стержнях, которые подготовили бы ферму к восприятию мгновенного импульса, то есть спроектировать ферму с минимальной частотой собственных колебаний.

Амплитуда колебаний j -го узла, как известно, будет:

$$y_j = \sum_{k=1}^n \sigma_k N_{kj} \frac{l_k}{E} \left(1 - \frac{N_{kcm}}{N_k} \right), \quad (3)$$

где N_k – полное усилие в k -ом стержне во время действия динамической нагрузки.

Из анализа формулы (3) видно, что возможны следующие случаи:

- первый случай, когда деформации от динамической и статической нагрузок совпадают по знаку;
- второй случай, когда от действия статической нагрузки деформация стержня равна нулю;
- третий случай, когда деформация стержня от статической нагрузки противоположного знака к знаку полной деформации.

Первый случай соответствует статически определимой ферме, когда полная деформация стержня Δl_n и статическая деформация Δl_{cm} одного знака. Второй случай соответствует отсутствию статической нагрузки. Как видно, при этом динамическая деформация будет больше, чем в первом случае, но меньше чем в третьем случае, когда под действием статической нагрузки и усилий в лишних стержнях до действия мгновенного импульса создаются предварительные напряжения противоположного знака к знаку полных напряжений. И так, не трудно заметить, что увеличение гибкости фермы возможно за счет создания в стержнях фермы напряжений противоположного знака к знаку полных напряжений.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что необходимо подобрать усилие в лишних стержнях так, чтобы как можно в большем числе стержней напряжения в статике были бы противоположного знака к знаку полных напряжений. Это возможно потому, что нагрузки, действующие вниз, будут больше нагрузок, действующих вверх, при колебании фермы. Стержни фермы при колебании вверх будут недогруженными, и использование материала будет неполным. Задачей оптимального проектирования и будет использование этого «резерва» что приведет к увеличению динамической деформации и, в конечном счете, к уменьшению частоты собственных колебаний. Но, при этом, создается опасность, что при колебании фермы в противоположном направлении в ряде стержней напряжения превысят допустимые. Ограничить это можно, если ферму при колебании рассматривать, как ферму, находящуюся под действием комбинации нагрузок и записать объемную форму с помощью аут-формы Ю.А. Радцига вида [3]:

$$V = \sum_{k=1}^n \frac{\left| \frac{N_{ko} + \sum_i N_{ki} X_i + N_{k\gamma} + \omega \sum_j N_{kj} S_j}{\sigma_k} \right| l_k}{A} \quad (4)$$

Раскрыв аут-форму, получаем:

$$V = \sum_{k=1}^n \left| \frac{N_{ko} + N_{k\gamma} + \sum_i N_{ki} X_i}{\sigma_k} l_k + \frac{\omega \sum_j N_{kj} S_j}{\sigma_k} \right| \quad (5)$$

Усилие в любом стержне фермы будет определяться

$$N_k = N_{ko} + g \sum_i N_{ki} (m_j - c_j) + \sum_{i=1}^m X_i N_{ki} + \left| \frac{\omega \sum_j N_{kj} S_j}{\sigma_k} \right| \quad (6)$$

Так как при динамическом расчете важно иметь истинное значение динамической составляющей прогиба на каждом приближении, необходимо заранее знать величины полных напряжений во всех стержнях фермы [4, 5].

В основных стержнях напряжения задаются, а в лишних стержнях они определяются из условия связности деформаций. Знак усилия в лишнем стержне должен соответствовать знаку напряжения, а величина усилия должна меняться до изменения картины знаков хотя бы в одном стержне.

Объемную форму (4) можно рассматривать как $(m+1)$ – мерное многообразие, имеющее один абсолютный и ряд локальных минимумов.

Для определения наименьшего значения $(m+1)$ – мерного многообразия можно применить метод градиентного спуска. Положив все лишние неизвестные, кроме одного, равными нулю, изменяем значение X_1 до изменения картины знаков усилий. На каждом шаге по значению X_1 определяем величину объема. Геометрически получаем след пересечения многообразия $V(X_1; X_2, X_3; \dots, X_m)$ с плоскостью, перпендикулярной к основной координатной плоскости $(m+1)$ – мерного пространства. Фиксируем наименьшее значение объема $V_{\min 1} = V_{\min}(X'_1)$ и соответствующее ему X'_1 .

Зафиксировав значение $X_1 = X'_2$, и положив все лишние неизвестные, кроме второго, равными нулю ($X_3 = X_4 = \dots X_m = 0$), через точку $(X_1 = X'_1, X_3 = X_4 = \dots X_m = 0)$, проводим новую плоскость, перпендикулярную к основной и параллельную X_2 , то есть аналогично получаем $V_{\min 2} = V(X'_1 X'_2)$ и значение $X_2 = X'_2$ соответствующее наименьшему общему на новом следе.

При этом

$$V_{\min 2} = (X'_1 X'_2) \leq V_{\min 1}(X'_1). \quad (7)$$

Продолжая, таким образом, получаем наименьшее значение объема в первом приближении:

$$V_0(X_1 = 0; X_2 = 0; \dots X_m = 0) \geq V_{\min}(X'_1) \geq V_{\min}(X'_1 X'_2) \geq \dots \dots V_{\min 1}(X'_1 X'_2 \dots X'_m). \quad (8)$$

Далее, положив в функции $V(X_1; X_2, X_3, \dots, X_m)$ все лишние неизвестные, равными фиксированным значениям $X_2 = X_2', X_3 = X_3', \dots, X_m = X_m'$ из первого приближения, определяем новое значение $X_1 = X_1''$, соответствующее минимальному значению объема $V_{\min} = V_{\min}(X_1'', X_2', \dots, X_m')$.

Продолжая аналогичный процесс, далее приходим к наименьшему объему во втором приближении $V_{\min 2}(X_1'', X_2'', \dots, X_m'')$. «Спуск» продолжаем до тех пор, пока два последующие наименьшие значения объема не сравняются или не будут отличаться больше, чем на некоторую величину ε , определяющую точность расчета.

$$\begin{aligned} V_0(X_1 = 0; X_2 = 0; \dots, X_m = 0) &\geq V_{\min 1}(X_1' X_2' \dots X_m') \geq V_{\min 2}(X_1'' X_2'' \dots X_m'') \geq \dots \\ &\dots \geq V_{\min(i-1)}(X_1^{i-1} X_2^{i-1} \dots X_m^{i-1}) = V_{\min i}(X_1^i X_2^i \dots X_m^i). \end{aligned} \quad (9)$$

Значения лишних неизвестных, так же должны иметь минимальное расхождение

$$\left. \begin{aligned} |X_1^i - X_1^{i-1}| &\leq \Delta_1 \\ |X_2^i - X_2^{i-1}| &\leq \Delta_2 \\ &\dots \\ |X_m^i - X_m^{i-1}| &\leq \Delta_m \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

На основании выше изложенного, для расчета статически неопределимых ферм минимального веса на действие мгновенного импульса можно предложить следующий алгоритм решения задач.

1. Приравнять все усилия в лишних стержнях нулю.

1.1. Определить усилия в основной системе от действующей статической нагрузки N_{ko} и от выбранных усилий в лишних стержнях

$$N_{kcm} = N_{ko} + \sum_{i=1}^m N_{ki} X_i.$$

1.2. Определить сосредоточенные массы в узлах фермы

$$m_j^i = \frac{\gamma}{g} \sum_{k=1}^n \frac{N_k^{i-1} l_k}{\sigma_k} \cdot \beta_{kj} + C_j.$$

1.3. Определить динамические составляющие прогибов

$$y_j^i = \sum_{k=1}^n \sigma_k N_{kj} \frac{l_k}{E} \left(1 - \frac{N_{kcm}}{N_k^{i-1}} \right).$$

1.4. Определить частоту собственных колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{g \sum_j m_j^i y_j^i}{\sum_j m_j^i (y_j^i)^2}}.$$

1.5. Определить усилия в стержнях фермы от собственного веса

$$N_{k\gamma}^i = g \sum_j N_{kj} (m_j^i - C_j).$$

1.6. Определить усилия от действующей нагрузки

$$N_{ks}^i = \varpi^i \sum_j N_{kj} S_j.$$

1.7. Определить полные усилия

$$N_k^i = N_{ko} + \sum_{i=1}^m N_{ki} X_i + N_{k\gamma} + \varpi^i \sum_j N_{kj} S_j.$$

1.8. Если $|N_k^i - N_k^{i-1}| \leq \varepsilon$, то перейти к пункту 1.9.

Если $|N_k^i - N_k^{i-1}| > 0$ повторить пункт 1.2 – 1.7.

1.9. Определить объем фермы V .

1.10. Запомнить значение объема и соответствующие значения лишних неизвестных.

1.11. Дать приращение лишнему неизвестному

$$X_i + \Delta X \cdot i$$

1.12. Проверить знак $\frac{N_k}{\sigma_k}$, и если $\frac{N_k}{\sigma_k} > 0$, то перейти к пункту 1.1, а если $\frac{N_k}{\sigma_k} < 0$, то перейти к пункту 1.13.

1.13. Определить наименьшее значение объема фермы

$$V_{H3} = V_{\min}(X_1' X_2 = 0 \dots X_m = 0).$$

2. Зафиксировав значение $X_1 = X_1'$ $X_3 = X_4 = \dots X_m = 0$, повторить внутренний цикл 1.1 – 1.13 для X_2 и определить $V_{H3} = V_{\min}(X_1' X_2')$.

3. Далее перейти к переменной X_3 , зафиксировав $X_1 = X_1'$ и $X_2 = X_2'$ и т.д. до $V_{H3} = V_{\min}(X_1'', X_2', \dots X_m')$ – наименьшего значения объема в первом приближении.

Во втором приближении зафиксировать все переменные $X_2 = X_2'$ $X_3 = X_3'$ $X_m = X_m'$ и, повторяя пункты 1.1 – 1.13, определить $V_{H3} = V_{\min}(X_1'', X_2', \dots X_m')$, и так далее до получения наименьшего значения объема во втором приближении $V_{H3} = V_{\min}(X_1'', X_2'', \dots X_m'')$.

Процесс повторяется до тех пор, пока $V_{\min i}(X_1^i, X_2^i \dots X_m^i) = V_{\min i-1}(X_1^{i-1}, X_2^{i-1} \dots X_m^{i-1}) \leq \varepsilon$.

После чего расчет прекратить и значения усилий, соответствующие ферме наименьшего объема, выдать на печать.

На основе предложенного алгоритма разработана программа для расчета n - кратно статически неопределимых ферм ($n = 1, 2, 3 \dots$) на ПК.

Пример: Пусть дана статически неопределимая ферма (Рис. 1). Определить площади поперечных сечений стержней так, чтобы напряжения во всех основных стержнях были бы равны заданным, а в лишних – не превышали бы их. При этом объем фермы был бы минимальным. Дано: $l = 5\text{ м}$; $Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 5\text{ т}$; $S_2 = S_3 = S_4 = S_5 = 1\text{ т·сек}$; $E = 2 \cdot 10^7\text{ т/м}^2$; $\gamma = 8\text{ т/м}^3$; $g = 9,81\text{ м/сек}^2$. Поиск наименьшего значения объема и определение соответствующего значения лишнего неизвестного сведены в таблицу 1.

Согласно составленной программе для данного примера получено наименьшее значение объема составило $V_{\min} = 304,8$ условных единиц, значение $X_{\text{опт}} = 30,09$ условных единиц.

Таблица 1 – Расчет усилий в ферме

№	N_{k0} (т)	N_{k1}	σ_k (т/м ²)	Матрица единичных усилий				Матрица коэффициентов распределения масс				Расчет. усилие, N_k (т)
				N_{k2}	N_{k2}	N_{k2}	N_{k2}	β_{k2}	β_{k2}	β_{k2}	β_{k2}	
1-2	5,0	-	$1,5 \cdot 10^4$	0,6667	0,667	0,333	0,333	0,333	0	0	0	35,5
1-3	-7,07	-	$1,0 \cdot 10^4$	-0,943	-0,943	-0,472	-0,472	0	0,333	0	0	-50,22
2-3	5,0	-0,707	$1,5 \cdot 10^4$	0,667	0,333	0,333	0,333	0,48	0,52	0	0	1,12
3-4	0	1	$1,5 \cdot 10^4$	0	0	0	0	0	0,52	0,48	0	30,1
2-4	5,0	-0,707	$1,5 \cdot 10^4$	0,333	0,333	0,667	0,667	0,5	0	0,5	0	14,22
2-5	0	1	$1,5 \cdot 10^4$	0,472	0,472	-0,472	-0,472	0,48	0	0	0,52	30,1
3-5	-5,0	-0,707	$1,5 \cdot 10^4$	-0,667	-0,667	-0,333	-0,333	0	0,5	0	50	-56,77
4-5	5,0	-0,707	$1,5 \cdot 10^4$	0	0	1	0	0	0	0,48	0,58	1,12
5-6	7,07	-	$1,5 \cdot 10^4$	-0,472	-0,472	-0,943	-0,943	0	0	0	0,333	-50,22
4-6	5,0	-	$1,5 \cdot 10^4$	0,333	0,333	0,667	0,667	0	0	0,333	0	35,49

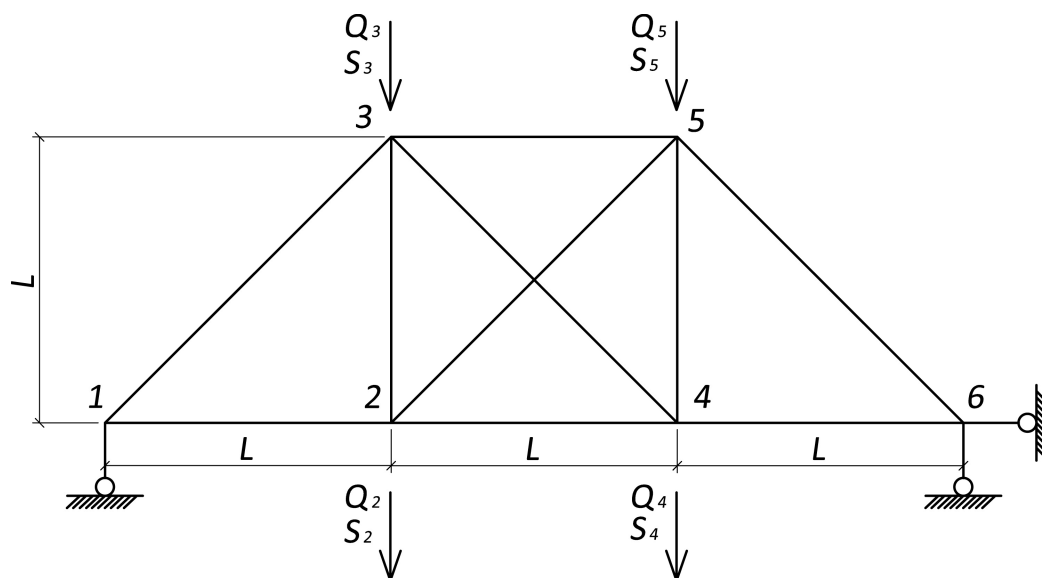


Рис. 1 – Расчетная схема фермы

Проведенный пример расчета иллюстрирует реальные возможности предложенного алгоритма и разработанной авторами программы на примере однопролетной статически неопределенной фермы.

Литература

1. Рабинович И.М. К расчету ферм и балок минимального объема на действие динамических нагрузок // «Исследования по теории сооружений», выпуск XV. – М., 1967. – С. 135 – 142.
2. Матвеев С.Н. Некоторые вопросы расчета оптимальных ферм на действие динамических нагрузок и собственного веса. Автореферат дис. кан. техн. наук. – Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1970. – 18 с.
3. Радциг Ю.А. Статически неопределимые фермы наименьшего веса. – Казань: Изд. Казанского университета, 1969. – 289 с.
4. Гирфанов И.С. Экспериментально-теоретическое исследование работы статически – неопределимых ферм оптимального объема. Автореферат дис. кан. техн. наук.. – Ленинград: ЛИСИ, 1967 – 26 с.
5. Гирфанов И.С., Юманов В.А. К вопросу проектирования конструкций минимальной массы с заданными динамическими характеристиками. // Материалы XXIX научной конференции КИСИ, – Казань, 1987. – С. 67 – 69.
6. Гирфанов И.С., Юманов В.А. К исследованию свойств конструкций с максимальной динамической жесткостью. // Сборник «Исследования, расчет, и испытания металлических конструкций» вып. 2, – Казань, 1978 – С. 123 – 131.

References

1. Rabinovich I.M. Frames and beams calculation in the minimum amount of dynamic loads action. "Investigations on the theory of structures," the release XV. Moscow, 1967. pp. 135 – 142.
2. Matveev S.N. Some questions of the best frames on the effect of dynamic loads and its own weight. Abstract Cand. diss. Gorki, GIBI V.P. Chkalov Publ., 1970. 18 p.
3. Radtsig Yr.A. Statically indeterminate truss least weight. Kazan, Kazan University Publ., 1969. 289 p.
4. Girfanov I.S. Experimental and theoretical research work statically – indeterminate trusses optimum volume. Abstract Cand. diss. Leningrad: LISI Publ., 1967. 26 p.
5. Girfanov I.S., Umanov V.A. On the issue of the minimum weight structures design with specified dynamic characteristics. Proceedings of the XXIX conference KISI, Kazan. 1987. pp. 67 – 69.
6. Girfanov I.S., Umanov V.A. To study the properties of structures with maximum dynamic stiffness. Collection "Research, calculation and testing of metal structures» Vol. 2. Kazan, 1978. pp. 123 – 131.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.290

Гусев С.В.

Кандидат технических наук, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

**МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЦИФРОВЫХ СХЕМ
С ДВУХПРОВОДНЫМИ ДАННЫМИ****Аннотация**

В статье рассмотрены методы проектирования асинхронных цифровых схем с двухпроводными сигналами, позволяющими включить признак готовности в передаваемые данные. Представленные методы позволяют исключить необходимость построения дерева синхросигналов и уменьшить площадь схемы. Приведено сравнение представленного метода с методом асинхронного проектирования со связанными данными. Показаны некоторые преимущества и недостатки асинхронных схем с двухпроводными и связанными данными и синхронными методами проектирования.

Ключевые слова: цифровые схемы, асинхронные схемы, связанные данные.

Gusev S.V.

PhD in Engineering, National Research University «MIET»

**DESIGN TECHNIQUES OF ASYNCHRONOUS DIGITAL CIRCUITS
WITH TWO-WIRE DATA TRANSMISSION****Abstract**

The article describes methods of designing of asynchronous digital circuits with two-wire signals that allow to include a sign of readiness in the transmitted data. Described solutions can eliminate the need to build a clock tree and reduce the chip area. Presented the comparison with the asynchronous design methods with bundled data. Showing some of the advantages and disadvantages of asynchronous circuits with two-wired and bundled data, and synchronous design methods.

Keywords: digital circuits, asynchronous circuits, bundled data.

В настоящее время с ростом степени интеграции и уменьшением минимальных технологических размеров технологии изготовления СБИС все чаще возникают проблемы, обусловленные синхронной организацией цифровых схем. Основные из них, это ресурсоемкость и трудность корректного распределения синхросигнала по ГБИС, физические эффекты, проявляющиеся в нано-метровых микросхемах, обусловленные увеличением времени задержек комбинационных цепей и ужесточившимися требованиями к параметрам аналоговых блоков (уровень шумов, джиттер, ИНЛ, ДНЛ и т.д.).

В асинхронных схемах синхросигналы заменены механизмом квитирования между соседними регистрами. При этом, для каждого регистра схемы необходимо реализовать дополнительные схемы управления. Они определяют, в каком состоянии находится текущая ступень, и осуществляют квитирование с соседними ступенями. Регистр может принять и сохранить данные от своего предшественника, только если его последователь принял и сохранил данные ранее в нем сохранившиеся.

Таким образом, при передаче данных между элементами памяти асинхронным образом нет необходимости сохранять все данные, независимо от того были они обновлены или нет. Т.е. работают только те регистры, на входе которых имеются новые достоверные данные. Эта особенность позволяет существенно сократить потребление асинхронных схем.

Несмотря на кажущиеся очевидными преимущества протоколов с объединенными данными наиболее перспективными в настоящее время представляются варианты реализации схем с двухпроводными данными, так как помимо существенно сокращения потребления схемы, позволяет увеличить скорость работы, так как в этом случае быстродействие будет определяться средним критическим путем схемы.

В отличие от двухфазного и четырехфазных протоколов с объединенными данными, где присутствуют отдельные сигналы запроса, ответа и шина данных, в протоколах квитирования с двойными цепями данных сигнал запроса замешивается в информационные цепи, и являться отдельным для каждого бита передаваемых данных. Сигнал ответа при этом один для каждого этапа передачи данных.

Таким образом, если требуется просто передавать данные от регистра к регистру, то преобразование протокола с объединенными данными в протокол с двойными цепями данных не вызывает затруднений. При этом сигнал подтверждения для предыдущей ступени представляет собой объединенные через С-элемент сигналы подтверждения для каждого двухпроводного бита данных. Т.е. сигнал ответа не возникнет до тех пор, пока не получены все сигналы запроса, т.е. пока на шине не установятся все биты данных.

Ситуация меняется в том случае если требуется реализовать некоторые функции обработки данных. Использование традиционных комбинационных схем, таких же, как в синхронных схемах, невозможно, так как это влечет за собой нарушение принципа данные/запрос, необходимой для реализации двухпроводного асинхронного протокола квитирования.

Кодировка каждого бита данных осуществляется в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Кодировка битов в двухпроводном протоколе квитирования

Состояние	Цепь 0	Цепь 1
Нет данных ("Е")	0	0
Данные есть "0"	0	1
Данные есть "1"	1	0
Запрещенное состояние	1	1

Состояние “00” означает отсутствие данных, т.е. отсутствие сигнала запроса по данному биту данных. Сигналы “01” и “10” логические 0 и 1 соответственно. Допустим состояние проводников данного бита “00”. Изменение любого из проводников будет интерпретироваться в схеме как наличие сигнала запроса и бита данных (0 либо 1). Далее, дождавшись возникновения подобных состояний на всех остальных проводниках шины данных/запроса, схема выработает сигнал подтверждения, после чего все единичные проводники должны принять нулевое состояние, таким образом, шина вернется в состояние «нет данных», и сигнал подтверждения будет снят, ознаменовав тем самым завершение цикла передачи.

Рассмотрим варианты реализации схем обработки данных для шины запрос/данные на примере логического элемента “И”. Схема элемента может быть представлена как аппаратная реализация суммы минтермов функции.

После однозначного определения входного набора корректных данных, и отсекающих всех остальных, нетрудно при помощи стандартного набора булевых функций “И”, “ИЛИ”, “НЕ” реализовать функции для обеих выходных цепей.

Аналогично можно реализовать и другие функции. Заметим, что элемент “НЕ” можно реализовать простой перестановкой двух проводников одного бита данных.

Представленный метод дает возможность синтезировать схемы для более сложных логических функций. При этом схемы для более сложных функций будут занимать пропорционально меньшую площадь.

Литература

1. Sparso J. Principles of asynchronous circuit design - a systems perspective. / J. Sparso, S. Furber. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. – 337 p.
2. Myers C.J. Asynchronous Circuit Design / C.J. Myers. – New York: John Wiley & Sons, 2001. – 424 p.
3. Hauck S. Asynchronous design methodologies: An overview. // Proceedings of the IEEE. – 1995. – Vol. 83. – N 1. – P. 69-93.

References

1. Sparso J. Principles of asynchronous circuit design - a systems perspective. / J. Sparso, S. Furber. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. – 337 p.
2. Myers C.J. Asynchronous Circuit Design / C.J. Myers. – New York: John Wiley & Sons, 2001. – 424 p.
3. Hauck S. Asynchronous design methodologies: An overview. // Proceedings of the IEEE. – 1995. – Vol. 83. – N 1. – P. 69-93.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.209

Жавнер В.Л.¹, Никитина К.В.²

¹Доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

²ORCID: 0000-0001-7557-2554, Аспирант

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБСЛУЖИВАЕМОЙ ЗОНЫ РОБОТА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Аннотация

В работе рассматривается робот с параллельной кинематикой для погрузочно-разгрузочных работ. Выводятся зависимости длины и высоты обслуживаемой роботом зоны от положения рабочего органа, а также зависимость длины обслуживаемой зоны от ее высоты. Также в работе решается задача определения расстояния между креплениями приводных элементов по заданным значениям длины и высоты обслуживаемой зоны. Моделируется случай ограничения свободного пространства над роботом: производится расчет максимального расстояния до ограничения и, наоборот, по заданному расстоянию до ограничения вычисляется необходимое расстояние между креплениями приводных элементов.

Ключевые слова: параллельный робот, обслуживаемая зона, погрузочно-разгрузочные работы.

Zhavner V.L.¹, Nikitina K.V.²

¹PhD in Engineering, Professor, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University; ²ORCID: 0000-0001-7557-2554, Postgraduate student

RESEARCH OF PARAMETERS OF THE SERVICE AREA OF ROBOT WITH PARALLEL STRUCTURE

Abstract

The paper deals with a parallel kinematics robot for loading and unloading. We derive the dependence of length and height of the area served by the robot from the position of working body and dependence of length of the service area from its height. Also in the paper we solve the problem of determining the distance between bindings of driving elements from the given values of length and height of the service area. It is modeled a case of restriction on the free space over the robot: there are calculated maximum distance to the restriction, and conversely, for a given distance to the limitations there are calculated the required distance between the mounting of driving elements.

Keywords: parallel robot, service area, loading and unloading works.

На сегодняшний день роботы с параллельной кинематикой (в англоязычной литературе именуемые “parallel robots” – параллельные роботы) стали достаточно широко применяться в промышленности. Обладающие высоким быстродействием дельта-роботы уже зарекомендовали себя при обслуживании непрерывных технологических линий, например, при сортировке небольших изделий, переориентации изделий в потоке, сварке, размещении компонентов на печатных платах, а также в фармацевтической и пищевой промышленности. Кроме дельта-роботов, разрабатываются новые фрезерные станки [4] с рабочим органом, перемещаемым механизмом

параллельной структуры (триподом). В связи с этим, для параллельных роботов очень актуально расширение сфер применения, в частности, внедрение их на вспомогательные операции, такие как погрузочно-разгрузочные работы.

Для этих целей разработан робот с параллельной структурой с тремя степенями подвижности (рисунок 1). Необходимость в создании нового робота обусловлена тем, что большинство существующих параллельных роботов обладают избыточным для простых операций количеством степеней подвижности, а также недостаточной грузоподъемностью для переноса тары с изделиями, масса которой может достигать 50 кг. Робот, изображенный на рисунке 1, представляет собой в базовой плоскости шарнирную ферму переменной конфигурации [1], образованную двумя поступательными парами, закрепленную на третьей поступательной паре или на вращательной паре в зависимости от выполняемой операции. Стоит отметить, что данная схема очень эффективна при использовании гидроцилиндров, так как в этом случае значительно увеличивается грузоподъемность робота. Кроме того, таким роботом достаточно просто управлять. Общие принципы организации системы управления таким роботом изложены в работе [2].

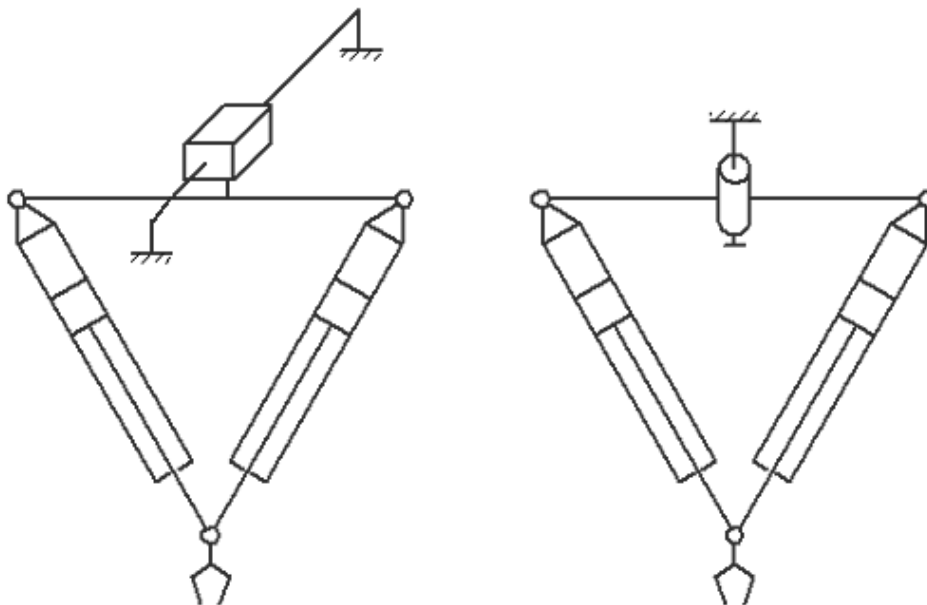


Рис. 1 – Структурная схема параллельного погрузочно-разгрузочного робота

Одной из наиболее важных характеристик робота является обслуживаемая им зона (рисунок 2). В работе [3] показано, что для разработанного робота обслуживаемая зона в базовой плоскости представляет собой фигуру, образованную пересечением четырех окружностей с центрами на осях крепления приводных элементов (т.е. поступательных пар). Исследование обслуживаемой зоны сводилось к аналитическому представлению и определению координат граничных точек сечения зоны в базовой плоскости робота. Однако этого не достаточно для полноценного представления возможностей робота. Более информативными параметрами обслуживаемой зоны являются ее длина и высота, а также интерес представляет зависимость их друг от друга. Обычно для погрузочно-разгрузочных работ высота обслуживаемой зоны превышает ее длину. Это связано с тем, что робот укладывает готовую продукцию, снятую с конвейера, на поддон, который установлен на полу рабочего помещения в непосредственной близости с конвейером. В нашем случае используется обратный подход: длина больше высоты обслуживаемой зоны. Такой подход исключает подъем и опускание рабочего органа на длинные дистанции во время выполнения операции; для этих целей предусматривается специальная грузоподъемная платформа, которая обеспечивает установку коробок с продукцией на поддон на уровне конвейера.

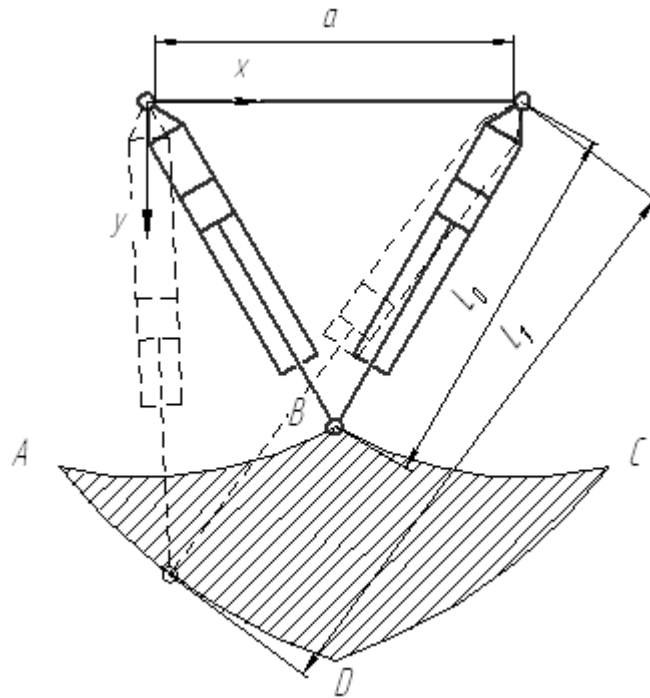


Рис. 2 – Сечение обслуживаемой зоны в базовой плоскости

Для нахождения максимально возможных размеров длины и высоты, которые можно вписать в фигуру (рисунок 2), полученную при условии применения в конструкции робота одинаковых приводов, будем использовать известные из работы [3] уравнения окружностей, образующих обслуживаемую зону. Исходя из этого, высоту обслуживаемой зоны задаем как разницу между координатами точек соответствующих окружностей по оси ординат при одном и том же значении x :

$$h = \begin{cases} \sqrt{L_1^2 - (x - a)^2} - \sqrt{L_0^2 - x^2}, & x \leq x_B, \\ \sqrt{L_1^2 - x^2} - \sqrt{L_0^2 - (x - a)^2}, & x > x_B, \end{cases} \quad (1)$$

где h – высота обслуживаемой зоны;

x – текущее положение рабочего органа;

a – расстояние между креплениями приводных элементов;

L_0 – минимальная длина приводного элемента;

L_1 – максимальный размер приводного элемента.

Однако, в точках $x = 0$ и $x = a$ имеем минимум функций $y = \sqrt{L_0^2 - x^2}$ и $y = \sqrt{L_0^2 - (x - a)^2}$, равный $y = L_0$. Ввиду невозможности вписать прямоугольник выше прямой $y = L_0$ для точек, лежащих левее $x = 0$ и правее $x = a$, полученную выше зависимость (1) высоты обслуживаемой зоны от координаты рабочего органа необходимо скорректировать:

$$h = \begin{cases} \sqrt{L_1^2 - (x - a)^2} - L_0, & x \leq 0, \\ \sqrt{L_1^2 - (x - a)^2} - \sqrt{L_0^2 - x^2}, & 0 < x \leq x_B, \\ \sqrt{L_1^2 - x^2} - \sqrt{L_0^2 - (x - a)^2}, & x_B < x \leq a, \\ \sqrt{L_1^2 - x^2} - L_0, & x > a. \end{cases} \quad (2)$$

Зависимость длины обслуживаемой зоны от координаты рабочего органа представлена ниже:

$$l = |2x - a|. \quad (3)$$

Изменение направления графика этой функции происходит в точке $x = x_B$.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей высоты и длины обслуживаемой зоны при определенном параметре a , одинаковом для обеих зависимостей.

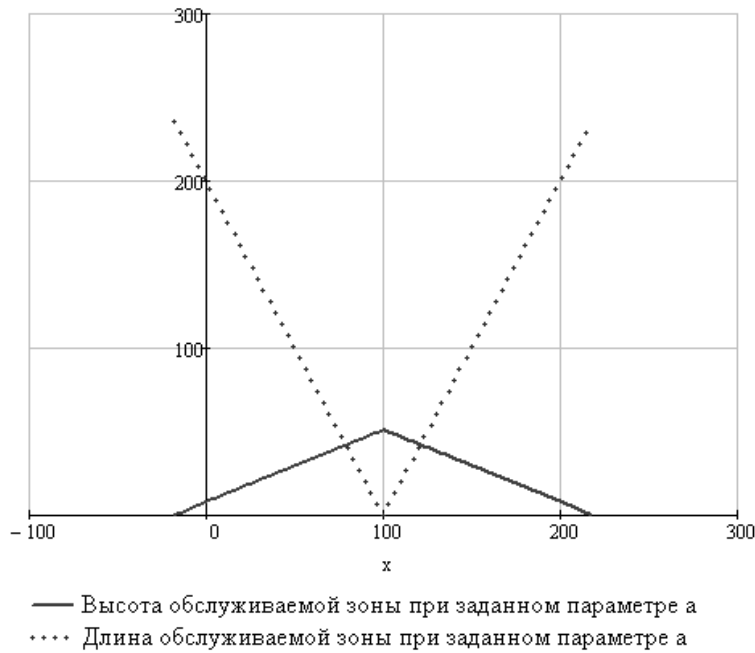


Рис. 3 – Зависимость максимальной длины и высоты обслуживаемой зоны от положения рабочего органа

Из зависимостей (2) и (3) вытекает очевидный вывод: наибольшая длина обслуживаемой зоны достигается при нулевой ее высоте, и наоборот, наибольшая высота возможна только при нулевой длине обслуживаемой зоны. Кроме того, в силу использования идентичных приводов, полученные зависимости имеют симметричный характер – ось симметрии проходит через середину расстояния между креплениями приводных элементов.

Полученные графики дают наглядное представление о максимальных значениях параметров обслуживаемой зоны, но нас в большей степени интересует зависимость их друг от друга. Так как обе зависимости симметричны, будем рассматривать только левую часть графиков, т.е. область $x \leq x_B$. На этом интервале высота зоны меняется в пределах $h \in [0; h_{max} = h(x_B)]$, а длина – в пределах $l \in [l_{max}; 0]$.

Из представленной выше системы уравнений (2) для нахождения высоты обслуживаемой зоны берем первые два уравнения и выражаем длину зоны. Для выбранного интервала координата рабочего органа в соответствии с (3) равна $x = \frac{1}{2}(a - l)$. Легко показать, что корни первого уравнения системы (2) имеют следующий вид:

$$l = \pm 2\sqrt{L_1^2 - (L_0 + h)^2 - a}.$$

Так как нас интересует только тот корень, который удовлетворяет условию $l(h = 0) = l_{max}$, получаем, что на отрезке $h \in [0; h(0)]$ длина равна:

$$l = 2\sqrt{L_1^2 - (L_0 - h)^2 - a}. \quad (4)$$

Корни второго уравнения системы (2) можно записать следующим образом:

$$l = \frac{-a \cdot B_l \pm \sqrt{a^2 \cdot B_l^2 - A_l \cdot C_l}}{A_l},$$

где соответствующие коэффициенты имеют вид:

$$\begin{aligned} A_l &= h^2 + a^2, \\ B_l &= L_0^2 - L_1^2, \\ C_l &= B_l^2 - h^2(2L_1^2 + 2L_0^2 - A_l). \end{aligned}$$

Нас интересует тот корень, который удовлетворяет условию $l(h(x_B)) = l_{min} = 0$. В этом случае получаем, что на отрезке $h \in [h(0); h(x_B)]$ длина равна:

$$l = \frac{-a \cdot B_l - \sqrt{a^2 \cdot B_l^2 - A_l \cdot C_l}}{A_l}. \quad (5)$$

Объединяя найденные решения (4) и (5), запишем итоговую формулу для нахождения зависимости длины обслуживаемой зоны от ее высоты:

$$l = \begin{cases} 2\sqrt{L_1^2 - (L_0 - h)^2 - a}, & h \leq h(0), \\ \frac{-a \cdot B_l - \sqrt{a^2 \cdot B_l^2 - A_l \cdot C_l}}{A_l}, & h > h(0). \end{cases} \quad (6)$$

На рисунке 5 изображен график зависимости (6) длины зоны от её высоты. Из графика видно, как меняется максимально возможная длина при изменении высоты обслуживаемой зоны от нуля до максимума. В данном случае происходит изгиб при $l = 200$, т.е. в этой точке наблюдается переход с одного решения на другое. Следует отметить, что полученная кривая является верхней границей, а под графиком расположено множество всех возможных размеров длины и высоты обслуживаемой зоны робота.

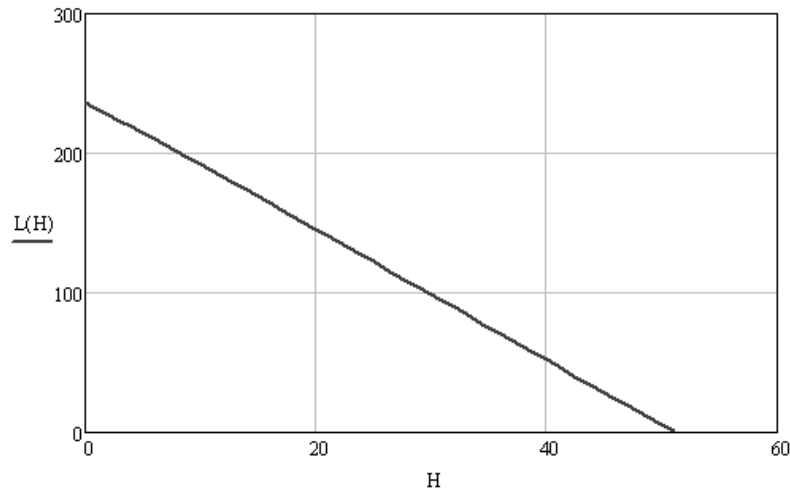


Рис. 5 – Зависимость длины обслуживаемой зоны от её высоты

Для решения обратной задачи, т.е. для нахождения параметра a , необходимо решить систему первых двух уравнений из системы (2) относительно неизвестной a . После проведенных вычислений получаем итоговую формулу для нахождения расстояния между осями закрепления приводов от размеров обслуживаемой зоны:

$$a = \begin{cases} 2\sqrt{L_1^2 - (L_0 - h)^2} - l, & a < l, \\ \frac{-l \cdot B_a - \sqrt{l^2 \cdot B_a^2 - A_a \cdot C_a}}{A_a}, & a \geq l. \end{cases} \quad (7)$$

Все предыдущие расчеты проводились для случая, когда рабочий объем робота не ограничен сверху и свободные концы поступательных пар могут беспрепятственно совершать любые перемещения. Однако в производственных помещениях часто бывает так, что пространство над роботом в силу различных причин имеет вполне определенные границы, как показано на рисунке 6.

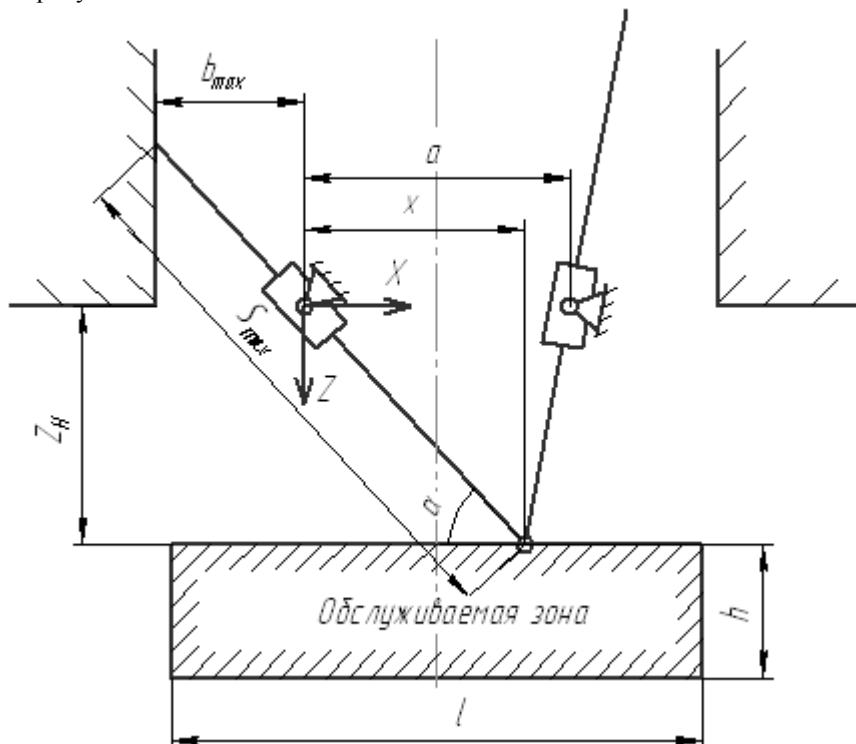


Рис. 6 – Расчетная схема для определения ограничений обслуживаемой зоны робота

Поэтому дальнейший геометрический синтез сводится к оценке наибольшего размера b , который достигается при движении рабочего органа по верхней границе обслуживаемой зоны. Из рисунка 6 видим, что

$$b = S_{max} \cos \alpha - x.$$

Нетрудно заметить, что наибольшее расстояние до ограничения можно представить в виде:

$$b = S_{max} \frac{x}{\sqrt{x^2 + z_H^2}} - x. \quad (8)$$

Для того чтобы оценить максимальное значение размера b , необходимо взять производную от (8) и приравнять ее к нулю.

$$S_{max} \frac{\sqrt{x^2 + z_H^2} - \frac{x^2}{\sqrt{x^2 + z_H^2}}}{x^2 + z_H^2} - 1 = 0,$$

$$x_0 = \sqrt{(S_{max} z_H^2)^{\frac{2}{3}} - z_H^2}. \quad (9)$$

При найденном положении x_0 рабочего органа размер b является максимальным. Подставив значение (9) в уравнение (8), получим, чему равно максимальное значение b_{max} :

$$b_{max} = b(x_0) = \frac{\sqrt{(S_{max} z_H^2)^{\frac{2}{3}} - z_H^2} (S_{max} - \sqrt[3]{S_{max} z_H^2})}{\sqrt[3]{S_{max} z_H^2}}. \quad (10)$$

Обратная задача сводится к тому, чтобы найти зависимость параметра a между осями закрепления приводов от расстояния z_H при условии, что b_{max} заранее известно.

Используя замену $t = \sqrt[3]{S_{max} z_H^2}$ и подставляя в полученную зависимость (10) значение S_{max} , вычислим искомый параметр a :

$$a = 2 \sqrt{\frac{\left(\sqrt[3]{b_{max}^2 \cdot z_H^4 + z_H^2} \right)^3}{z_H^4}} - (z_H + h)^2 - l. \quad (11)$$

Графики зависимости $a(z_H)$ при различных значениях b_{max} представлены на рисунке 7. Очевидно, что размер a не может быть меньше нуля, поэтому кривые, построенные при $b_{max} = 40$ и $b_{max} = 50$ не учитываем, они приведены для наглядности.

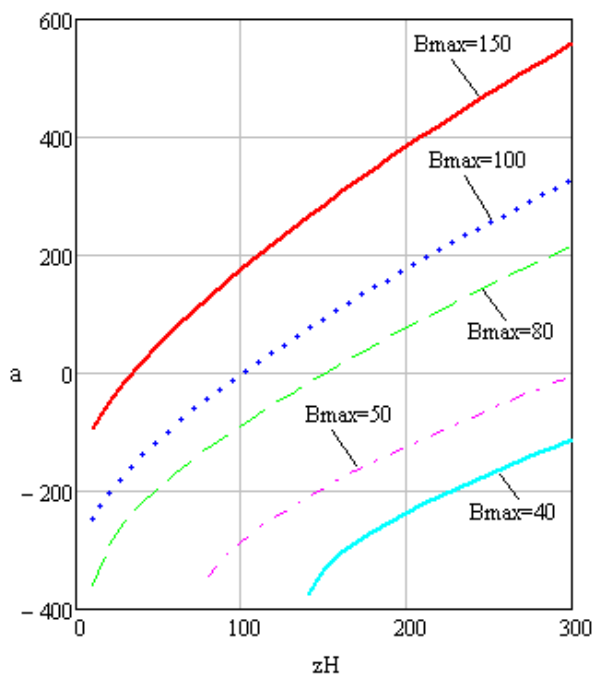


Рис.7 – Зависимость расстояния a между осями закрепления приводных элементов от расстояния z_H

На основании представленных в работе расчетов можно оценить по исходным размерам выбранных приводных элементов и расстояния между ними максимально возможные размеры обслуживаемой зоны разработанного робота и выбрать в соответствии с поставленной задачей конкретные значения длины и высоты обслуживаемой зоны. В то же время, исходя из размеров требуемой для выполнения некоторой технологической операции обслуживаемой зоны, можно подобрать такую конфигурацию робота, которая будет наиболее удовлетворять поставленным требованиям.

Литература

1. Жавнер В.Л. Роботы и манипуляторы для погрузочно-разгрузочных работ: дис. ... докт. техн. наук / В.Л. Жавнер. – Санкт-Петербург, 1992. – 535 с.

2. Жавнер В.Л. Система управления манипулятором / В.Л. Жавнер, К.В. Никитина // Научный форум с международным участием «Неделя науки СПбПУ»: материалы научно-практической конференции. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч. 2. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 10-13.
3. Никитина К.В. Обслуживаемая зона параллельных манипуляторов / К.В. Никитина, В.Л. Жавнер // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч. 1. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 18-20.
4. Панов С.С. Фрезерный станок с параллельной кинематикой / С.С. Панов, О.Н. Густова, П.Г. Мазеин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – №1-2(14). – С. 419-421.

References

1. Zhavner V.L. Roboty i manipulatory dlja pogruchno-razgruchnyh rabot: dis. ... dokt. tehn. nauk / V.L. Zhavner. – Sankt-Peterburg, 1992. – 535 s.
2. Zhavner V.L. Sistema upravlenija manipulatorom / V.L. Zhavner, K.V. Nikitina // Nauchnyj forum s mezhdunarodnym uchastiem «Nedelja nauki SPbPU»: materialy nauchno-prakticheskoj konferencii. Institut metallurgii, mashinostroenija i transporta. Ch. 2. – Sankt-Peterburg, 2015. – S. 10-13.
3. Nikitina K.V. Obsluzhivaemaja zona parallel'nyh manipulatorov / K.V. Nikitina, V.L. Zhavner // Nedelja nauki SPbPU: materialy nauchnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. Institut metallurgii, mashinostroenija i transporta. Ch. 1. – Sankt-Peterburg, 2015. – S. 18-20.
4. Panov S.S. Frezernyj stanok s parallel'noj kinematikoj / S.S. Panov, O.N. Gustova, P.G. Mazein // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2012. – №1-2(14). – S. 419-421.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.028

Иванюк А.К.

ORCID: 0000-0002-9383-4543, аспирант, Волгоградский государственный технический университет
**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБОЛОЧЕК,
 ИСПЫТЫВАЮЩИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ СЖАТИЕ**

Аннотация

В статье рассмотрено – разработка автоматизированной программы для расчета минимальной толщины стенок оболочек из заранее заданного материала находящихся под заданным гидростатическим давлением. Схема реализации контроля с помощью современных микроконтроллеров и тензодатчиков, беспроводная передача данных с помощью wifi-модуля на управляющий пункт.

Ключевые слова: автоматизация, система мониторинга, промышленность.

Ivanyuk A.K.

ORCID: 0000-0002-9383-4543, Postgraduate student, Volgograd State Technical University
**DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED CALCULATION AND SYSTEM OF MONITORING OF THE
 COVERS EXPERIENCING HYDROSTATIC COMPRESSION**

Abstract

In the article development of the automated program for calculation of the minimum thickness of walls of covers from in advance set material being under the set hydrostatic pressure is considered. The scheme of realization of control by means of modern microcontrollers and strain gages, wireless data transmission by means of the wifi-module on the operating point.

Keywords: automation, monitoring system, industry.

В наше время вопрос об автоматизации на производстве занимает, пожалуй, первое место. Данный процесс позволяет не только сократить время создания готовой продукции, но и повысить качество продукции, уменьшить финансовые издержки. Особенную роль автоматизация стала играть в проведении испытаний новых образцов. Поясним, при создании нового продукта в любой отрасли, зачастую требуется его испытания на итоговой фазе, но чем больше новый продукт отличается от аналога, тем больше вероятности, что при испытаниях он не достигнет или не выдержит нужных параметров. Соответственно автоматизация позволяет провести неразрушающий контроль, подготовить объект до испытаний и устранить все недочеты. Это и определяет актуальность данного вопроса.

Рассмотрим данную идею на примере создания автоматизированной системы мониторинга для обнаружения критических зон (трещин) в герметических оболочках испытывающих гидростатическое сжатие давлением. Данный вопрос касается области в машиностроении производящей гидроакустическое оборудование для ВМФ. Новые разработанные приборы и системы на финальной фазе испытывают под давлением в бассейнах, и зачастую оболочки не выдерживают и дают трещину, соответственно внутренняя дорогостоящая аппаратура затапливается и приходится переделывать конструкцию заново [1]. Это первая проблема, которую следует рассмотреть и решить. Вторая проблема заключается в вопросе, почему сконструированные оболочки не выдерживают требуемое давление. Очень редко это происходит из-за некорректных разработок инженеров, чаще процесс трещинообразования возникает из-за нелинейности или посторонних включений в материал, используемый для приборов. Так при использовании обычного материала АМг6 подобные вопросы не возникают, но для подводных систем требуется легкость конструкции и высокие коррозионные свойства, поэтому чаще всего используют материалы типа PVC-U или ПВХ [2]. А пластик характеризуется разнонаправленностью волокон и возможными включениями и неоднородностями в материале. Конструкция оболочек представляет собой совокупность 2-х геометрических фигур – трубы и сферы. Объясним и рассмотрим более подробно данный вопрос на примере следующих известных формул (1).

Задача по расчету толщины стенки оболочки исходя из внешнего давления и материала оболочки описывается следующим видом:

$$\delta_{min} = \frac{(p_n - p_v) d_n}{2[\sigma_y]} \quad (1)$$

где p_n – внешнее давление,

p_v – внутреннее давление,

d_n – наружный диаметр стенки,

$[\sigma_y]$ – допустимое напряжение, учитывающее устойчивость стенок трубы к продольному изгибу $[\sigma_y] = \varphi[\sigma]$,

$[\sigma]$ – допустимое напряжение на сжатие материала оболочки,

φ – коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости трубы

$\lambda = \mu l / i$,

μ – коэффициент Пуассона,

l – длина трубы,

i – момент инерции поперечного сечения трубы [3].

Провести данный расчет возможно не для всех материалов. Так исследовав существующую литературу выяснилось что зависимость $\varphi = f(\lambda)$ является известной только для небольшой группы материалов, в частности для металлов и сплавов [4]. На рисунке приведена известная таблица таких зависимостей (Рис.1).

ДАНЫЕ К РАСЧЕТАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Коэффициенты продольного изгиба φ (увеличенные в 1000 раз)

Материал	Г и б к о с т ь л														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
АМг	973	945	917	870	770	685	603	530	465	415	365	327	296	265	235
АМг6	973	946	890	770	640	542	458	387	322	280	243	213	183	162	148
АВТИ	996	992	900	780	660	557	463	387	312	252	210	175	150	129	113
Д16Т	999	998	835	700	568	455	353	269	212	172	142	119	101	87	76
Ст2, Ст3 Ст4	990	970	950	920	890	860	810	750	690	600	520	450	400	360	320
Ст5	980	950	930	900	840	800	740	660	590	500	430	380	320	280	270
НЛ-2 15ХСНД	980	950	930	900	830	780	710	630	540	450	390	330	290	260	230
СЧ12, 15 СЧ18, 21	970	910	810	690	570	440	340	260	200	160	-	-	-	-	-
СЧ24, СЧ28	950	870	750	600	430	320	230	180	140	120	-	-	-	-	-
Сосна	990	970	930	870	800	710	610	490	380	310	250	220	180	160	140

Рис. 1 – Данные к расчетам на устойчивость

Используя данную таблицу, автором была разработана автоматизированная программа для расчета минимальной толщины стенок оболочек из заранее заданного материала находящихся под заданным гидростатическим давлением.

Данная программа (Рис. 2) позволяет ускорить и упростить расчет.

Расчет толщины оболочки исходя из внешнего давления

Расчет толщины стенки трубы:

Материал: **АМг6** (AMГ6 / AMГ5)

Давление наружное, МПа: 6

Давление внутреннее, МПа: 0,1

Сигма, предел прочности, МПа: 40

Длина трубы, м: 0,3

Диаметр начальный внутр, м: 0,11

Мю, коэф Пуассона: 0,3

Диаметр наружный, м: 0,14

Расчет стенки трубы

Мин. толщина стенки, мм: 10,61

Расчет толщины стенки сферы:

Давление наружное, МПа: 5

Давление внутреннее, МПа: 0,1

Сигма, предел прочности, МПа: 40

Диаметр наружный, м: 0,14

Расчет стенки сферы

Мин. толщина стенки, мм: 4,288

Информация

Выход

Рис. 2 – Автоматизированная программа для расчета минимальной толщины стенки оболочки

Но для пластиковых труб данная зависимость не исследована, что в первую очередь объясняется тем, что материал не однородный, во-вторых нет достаточного количества экспериментальных данных для выявления данной зависимости [5]. Соответственно выдвигается два варианта решения данной проблемы – первый, проведение огромного количества испытаний на сжатие оболочек из ПВХ и выявление зависимостей, второй проведение ультразвуковой дефектоскопии. Второй вариант представляется для нас наиболее предпочтительным, так как он поможет выявить места являющиеся концентраторами напряжений.

Зная места с наиболее возможной критической деформацией, автор предлагает использовать современную автоматику, а именно датчик тензометрии, подсоединённый к микроконтроллеру (Рис. 3). Прикрепив датчик продольного изгиба на место наиболее подверженное разрушению, мы сможем оперативно получать в режиме реального времени нагрузку на стенку оболочки, и при возникновении критических сил вовремя остановить испытание не разрушив внутренние составляющие.

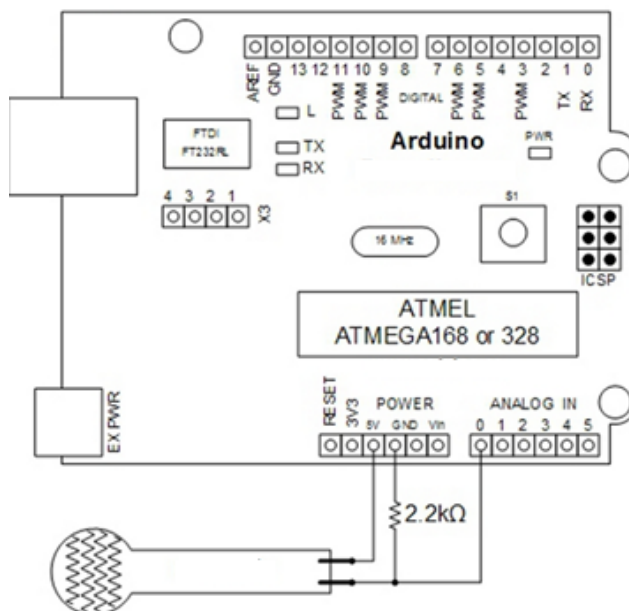


Рис. 3 – Схема соединения микроконтроллера с тензодатчиком

Так как оболочка герметична, предлагается использовать wifi-модуль для дистанционной передачи данных. Данная концепция решает ряд поставленных задач и в настоящий момент проходит стадию внедрения на АО «НИИ Гидросвязи «Штиль».

Литература

1. Иванюк, А.К. Проектирование автоматизированной системы технологической подготовки производства корпусных деталей прибора связи [Электронный ресурс] / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // 65-я международная

студенческая научно-техническая конференция, посвящённая 85-летию со дня основания вуза (г. Астрахань, 13-17 апр. 2015 г.): матер. (секция «Информационные системы и технологии, автоматизация и управление») / Астраханский гос. техн. ун-т. - Астрахань, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Капустин, Н.М. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов. Под ред. Н.М. Капустина. - М.: Высшая школа, 2007. - 224 с.

3. Иванюк, А.К. Разработка новых подходов в методологии проектирования АСТПП / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // Сборник тезисов докладов по внутривузовскому смотр-конкурсу научных конструкторских и технологических работ студентов (г. Волгоград, 12-15 мая 2015 г.) / ВолгГТУ, Совет СНТО. - Волгоград, 2015. - С. 23.

4. Сердобинцев, Ю.П. Повышение качества функционирования технологического оборудования: монография / Ю.П. Сердобинцев, О.В. Бурлаченко, А.Г. Схиртладзе; ВолгГТУ. - Старый Оскол: ТНТ, 2013. - 410с.

5. Иванюк, А.К. Синтез структурной схемы проектирования АСТПП на примере корпусных деталей/Иванюк А.К., Сердобинцев Ю.П. // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС - 2015). Материалы конференции. Санкт-Петербург. 28-30 октября 2015г. Спб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2015. - С. 433-437.

References

1. V.G. Barabanov and A.K. Ivanyuk, "Developing a computer-aided system for technological production planning of communicating devices/ Проектирование автоматизированной системы технологической подготовки производства корпусных деталей прибора связи", Astrakhan, April 2015 [65th International Student Scientific and Technical Conference dedicated to the 85th Anniversary of University Foundation, Information systems and technologies, computing and management].

2. N.P. Dyakonova, N.M. Kapustin, P.M. Kuznetsov, Computer-aided engineering manufacture/ Автоматизация машиностроения, Vysshaya shkola, 2007, p. 224.

3. V.G. Barabanov and A.K. Ivanyuk, Developing new approaches to the methods of CAM systems. VolgGTU, Sovet SNTU, May 2015, p.23

4. O.V. Burlachenko, Yu.P. Serdobintsev, and A.G. Skhirtladze, Increase in functioning qualities of manufacturing equipment/Повышение качества функционирования технологического оборудования: монография, VolgGTU, Stariy Oskol, TNT, 2013, p. 410

5. Yu.P. Serdobintsev and A.K. Ivanyuk, Synthesis of Structural CAM-system Engineering Schemes as exemplified by box-shaped parts/Синтез структурной схемы проектирования АСТПП на примере корпусных деталей, Spb: Izd-vo SPbGETU "LETI", St.Petersburg, 2015, pp. 433-437 [All-Russian Scientific Conference on Technical Systems Management Issues].

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.212

Ижендеев А.В.

Доцент, кандидат технических наук, Дальневосточный государственный аграрный университет
ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация

Цель исследования – разработка процедуры оптимизации размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля. Сформулирована задача оптимизации. Параметры оптимизации принимают дискретные значения. Целевая функция – площадь поперечного сечения стержня. Предложена процедура оптимизации, относящаяся к методам сканирования по сетке. Приведен пример оптимизации. Практическое применение исследования – создание систем автоматизированного проектирования оптимальных конструкций.

Ключевые слова: тонкостенный стержень, оптимизация, проектирование.

Izhendeev A.V.

Associate professor, PhD in Engineering, Far Eastern State Agricultural University
OPTIMIZATION OF THE SIZES OF THE CROSS-SECTION OF THE THIN-WALLED ROD WITH AN OPEN PROFILE

Abstract

The purpose of this study is to develop optimization procedures of the sizes of the cross-section of the thin-walled rod with an open profile. In this article, we formulated the optimization problem. The optimization parameters are discrete values. The objective function is the cross-sectional area of the rod. The proposed optimization procedure relates to methods of scanning the grid. The article presents the optimization example. The practical application of the research is the creation of systems of automated design of optimal structures.

Keywords: thin-walled rod, optimization, design.

Постановка задачи. В данной работе объектом исследования является тонкостенный стержень открытого профиля.

Пусть профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня произвольного по форме открытого профиля состоит из $n_{\text{л}}$ отрезков длиной $l_{\text{л},i}$, $i = \overline{1, n_{\text{л}}}$, ограниченных $n_{\text{т}}$ точками P_j , $j = \overline{1, n_{\text{т}}}$ (рис. 1).

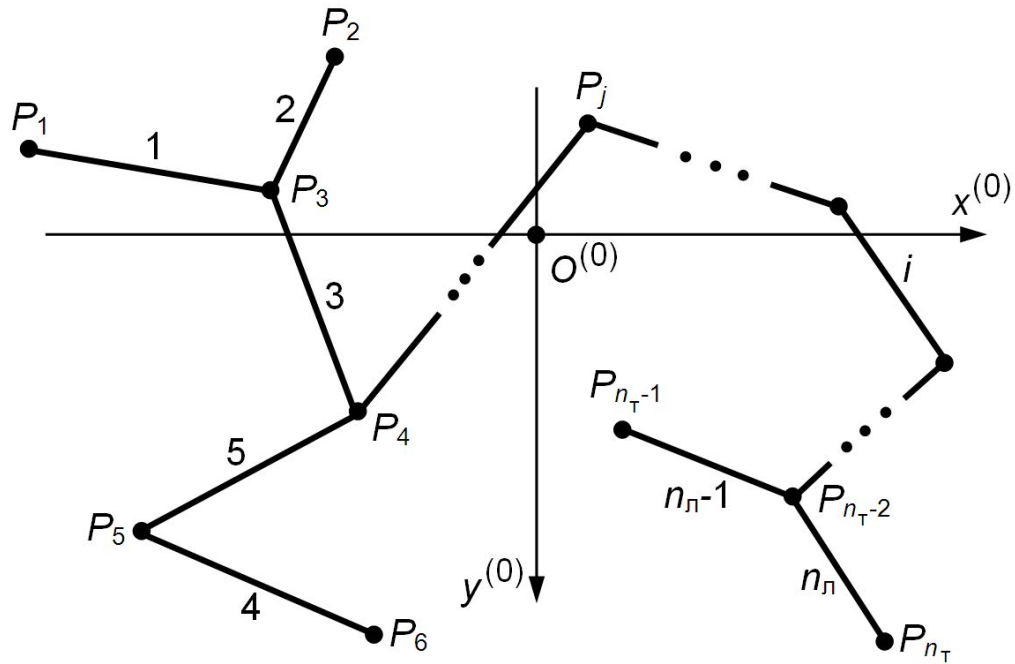


Рис. 1 – Профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня

Пусть толщина стенки (тонкостенного стержня), расположенной вдоль отрезка i , равна $t_{л,i}$.

Полагаем, что $l_{л,i}$ и $t_{л,i}$ (параметры проектирования, параметры оптимизации), $i = \overline{1, n_{л}}$, принимают дискретные значения.

Возможные сочетания значений $l_{л,i}$ и $t_{л,i}$ ($i = \overline{1, n_{л}}$) объединим в множество $\Omega_{\text{в}}^{(s)}$ возможных сочетаний параметров проектирования (соответствует множеству возможных или принципиально реализуемых конструкций [1, с. 9, 14]), каждый элемент которого определяет стержень с положительными размерами поперечного сечения стержня и, возможно, с некоторыми дополнительными требованиями к таким размерам. Само это множество может определяться, например, имеющимся в наличии (предполагаемым к использованию) листовым прокатом определенной толщины (из которого будет изготавливаться стержень) или максимально возможными габаритами поперечного сечения стержня (например, исходя из технологических или архитектурных требований).

Требуется найти такие значения $l_{л,i}$ и $t_{л,i}$ ($i = \overline{1, n_{л}}$), при которых площадь A поперечного сечения стержня является наименьшей и выполняются условия (ограничения) задачи оптимального проектирования (например, условия прочности, общей устойчивости и другие), то есть решение должно принадлежать множеству $\Omega_{\text{д}}^{(s)}$ допустимых сочетаний параметров проектирования (соответствует множеству допустимых конструкций [1, с. 9]).

Метод решения. Дискретные значения размеров поперечного сечения стержня зададим формулами:

$$t_{л,i} = t_{л}^{(0)} + \Delta t_{л} \cdot j_i^{(t)},$$

$$l_{л,i} = l_{л}^{(0)} + \Delta l_{л} \cdot j_i^{(l)},$$

где $\Delta t_{л}$ и $\Delta l_{л}$ – минимально возможные изменения $t_{л,i}$ и $l_{л,i}$ в процессе оптимизации; $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ – целые положительные числа (1, 2, 3 и т. д.); $t_{л}^{(0)}$ и $l_{л}^{(0)}$ – минимально возможные $t_{л,i}$ и $l_{л,i}$, уменьшенные соответственно на $\Delta t_{л}$ и $\Delta l_{л}$.

Площадь поперечного сечения стержня (целевая функция)

$$\begin{aligned} A &= \sum_{i=1}^{n_{л}} A_i = \sum_{i=1}^{n_{л}} t_{л,i} l_{л,i} = \\ &= \sum_{i=1}^{n_{л}} [l_{л}^{(0)} t_{л}^{(0)} + l_{л}^{(0)} \Delta t_{л} j_i^{(t)} + t_{л}^{(0)} \Delta l_{л} j_i^{(l)} + \Delta l_{л} \Delta t_{л} j_i^{(l)} j_i^{(t)}] = \\ &= \sum_{i=1}^{n_{л}} [a + b j_i^{(t)} + c j_i^{(l)} + d j_i^{(l)} j_i^{(t)}], \end{aligned}$$

где

$$A_i = t_{\text{л},i} l_{\text{л},i},$$

$$a = l_{\text{л}}^{(0)} t_{\text{л}}^{(0)}, b = l_{\text{л}}^{(0)} \Delta t_{\text{л}}, c = t_{\text{л}}^{(0)} \Delta l_{\text{л}}, d = \Delta l_{\text{л}} \Delta t_{\text{л}}.$$

Очевидно, что A_i – это площадь части сечения, расположенной вдоль отрезка i , составляющего профильную линию поперечного сечения стержня.

При постоянных значениях a, b, c и d площадь A_i является функцией двух переменных ($j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$):

$$A_i = a + b j_i^{(t)} + c j_i^{(l)} + d j_i^{(t)} j_i^{(l)}.$$

Возможных сочетаний $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ может быть достаточно много. Предлагается в процессе оптимизации выполнять перебор (сканирование) этих сочетаний упорядоченно.

Для этого зададим такую последовательность множеств $\Omega_{\text{в},1}^{(j_i)}, \Omega_{\text{в},2}^{(j_i)}, \Omega_{\text{в},3}^{(j_i)}$ и т. д. возможных сочетаний $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$, что значение A_i для каждого элемента любого из этих множеств меньше, чем значение A_i для каждого элемента последующего множества этой последовательности.

Очевидно, что множества $\Omega_{\text{в},j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$ ($j^{(\Omega)} \geq 1$) могут задаваться равенствами и неравенствами, в которые входят $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ (учтено, что a, b, c и d являются положительными числами):

- $\Omega_{\text{в},1}^{(j_i)}$ с сочетанием $j_i^{(t)} = 1$ и $j_i^{(l)} = 1$;
- $\Omega_{\text{в},j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$ при $j^{(\Omega)} \geq 2$ с такими сочетаниями, что

$$j_i^{(t)} = \overline{1, j^{(\Omega)}} \text{ и } \frac{A_{j^{(\Omega)}}^{(\min)} - a - b j_i^{(t)}}{c + d j_i^{(t)}} < j_i^{(l)} \leq \frac{A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)} - a - b j_i^{(t)}}{c + d j_i^{(t)}},$$

где $A_{j^{(\Omega)}}^{(\min)}$ и $A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)}$ – такие площади, что для каждого элемента из множества $\Omega_{\text{в},j^{(\Omega)}}^{(j_i)}$ справедливо $A_{j^{(\Omega)}}^{(\min)} < A_i \leq A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)}$ ($A_{j^{(\Omega)}}^{(\max)} = A_{j^{(\Omega)}+1}^{(\min)}$).

В процессе оптимизации перебор (сканирование) сочетаний $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ предлагается первоначально вести в множестве $\Omega_{\text{в},1}^{(j_i)}$, потом – $\Omega_{\text{в},2}^{(j_i)}$, затем – $\Omega_{\text{в},3}^{(j_i)}$ и т. д. То есть в первую очередь подвергаются сканированию те сочетания, которым соответствует меньшее значение целевой функции, так как по условиям задачи ищется именно ее минимум.

Так как профильная линия поперечного сечения тонкостенного стержня состоит не из одного, а из $n_{\text{л}}$ отрезков, то в процессе оптимизации перебор (сканирование) сочетаний $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ ($i = \overline{1, n_{\text{л}}}$) предлагается последовательно вести в множествах:

- множество 1 с такими элементами, что $A = A_2^{(\min)} n_{\text{л}}$;
- множество k ($k \geq 2$) с такими элементами, что $A_k^{(\min)} n_{\text{л}} < A \leq A_k^{(\max)} n_{\text{л}}$.

Если в некотором из этих множеств впервые находят элементы, соответствующие допустимой конструкции, то среди таких элементов выбирают те, при которых значение целевой функции минимальное. Выбранные элементы соответствуют оптимальной конструкции.

Очевидно, что описанная процедура обеспечивает поиск глобального минимума целевой функции, так как при его поиске анализируются все сочетания $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ ($i = \overline{1, n_{\text{л}}}$), при которых площадь поперечного сечения стержня меньше или равна значению целевой функции оптимальной конструкции.

Предложенная процедура перебора сочетаний $j_i^{(t)}$ и $j_i^{(l)}$ ($i = \overline{1, n_{\text{л}}}$) относится к методам сканирования по сетке при решении задач оптимального проектирования. Но такое сканирование не является построчной прогонкой [1, с. 60], которая часто требует немалых затрат времени работы компьютера, а развивает прием, описанный в работе [2, с. 123-125].

В последней из упомянутых работ предлагается предварительно (до процесса перебора и сопутствующего анализа) упорядочивать поперечные сечения стержня (отличающиеся размерами) в порядке возрастания (неубывания) площади этих сечений. Но это потребует (в отличие от предлагаемой в данной работе процедуры), во-первых, дополнительного количества памяти компьютера для хранения результата такого упорядочивания и, во-вторых, дополнительного времени работы компьютера на избыточное упорядочивание сечений, соответствующих хоть и

допустимой конструкции, но не оптимальной.

Результаты расчета. В качестве примера рассмотрим оптимизацию центрально сжатого стального стержня, шарнирно опертого в своих концевых поперечных сечениях. Данные для оптимизации взяты из работы [3, с. 15]. Форма поперечного сечения стержня двутавровая с двумя осями симметрии. Параметрами оптимизации являются размеры поперечного сечения стержня: b_f – ширина полки (пояса); t_f – толщина полки (пояса); h_w – высота стенки; t_w – толщина стенки. Эти размеры принимают дискретные значения: размеры b_f и h_w кратны 10 мм, а t_f и t_w – 1 мм. Ограничения задачи оптимального проектирования приняты по СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*». Продольная сжимающая сила $N = 2300$ кН, расчетные длины элемента $l_x = 7$ м и $l_y = 2$ м, расчетное сопротивление стали $R_y = 240$ МПа.

В результате оптимизации по предложенной в данной работе процедуре были получены оптимальные размеры: $b_f = 28$ см, $t_f = 1$ см, $h_w = 44$ см и $t_w = 1,1$ см. Площадь поперечного сечения стержня при этом составила $A = 104,4$ см². Такой же результат получен приемом построчной прогонки, что может свидетельствовать о достоверности решения.

В работе [3, с. 15] при тех же исходных предпосылках (за исключением того, что параметры оптимизации принимают дискретные значения) значение целевой функции $A = 105,1$ см², что отличается от найденного нами решения не более, чем на 1 %. Это согласуется со свойством экстремальной области [1, с. 27]: в окрестности экстремума для конструкций, соответствующих точкам на границе допустимой области, значения целевой функции изменяются весьма незначительно.

Выводы. Предложена процедура оптимизации размеров поперечного сечения тонкостенного стержня открытого профиля в случае, если эти размеры принимают дискретные значения (что естественно для условий реального проектирования).

Предложенная процедура относится к методам сканирования по сетке. Особенностью процедуры по сравнению с приемом построчной прогонки (этот прием также относится к методам сканирования по сетке) является то, что в первую очередь подвергаются сканированию поперечные сечения с меньшей площадью.

Процедура учитывает специфику именно тонкостенных стержней: их поперечные сечения состоят из узких прямоугольников (или могут быть сведены к такой форме).

Процедура позволяет отыскивать глобальный минимум целевой функции.

Литература

1. Лазарев, И.Б. Основы оптимального проектирования конструкций. Задачи и методы [Текст] / И.Б. Лазарев. — Новосибирск: Сибирская государственная академия путей сообщения, 1995. — 296 с.
2. Лихтарников, Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций [Текст] / Я.М. Лихтарников. — М.: Стройиздат, 1979. — 319 с.
3. Путеева, Л.Е. Оптимизация сечений элементов плоских стержневых систем при многопараметрическом нагружении [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.Е. Путеева. — Томск: Томский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2013. — 24 с.

References

1. Lazarev, I.B. Bases of an optimum design of structures. Tasks and methods [Text] / I.B. Lazarev. — Novosibirsk: Siberian State Academy of Means of Communication, 1995. — 296 p.
2. Likhtarnikov, Ya.M. Alternative design and optimization of steel structures [Text] / Ya.M. Likhtarnikov. — Moscow: Stroyizdat, 1979. — 319 p.
3. Puteeva, L.E. Optimization of sections of elements of flat rod systems at multiple parameter loading [Text]: authoref. dis. ... cand. techn. science / L.E. Puteeva. — Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Building, 2013. — 24 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.098

Казаков А.В.¹ Кошелев Р.В.² Тюльнев А.В.³¹Доктор биологических наук, ²кандидат технических наук, ³аспирант,

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИН В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**Аннотация**

В статье предложена математическая модель целесообразности выбора сельскохозяйственной техники для условий хозяйства с учетом ее стоимости и эксплуатационных затрат. Представлены данные по производственной эксплуатации зерноуборочных комбайнов компаний «Клаас» Мега-370 и «Гомсельмаш» Палессе GS12 в условиях агрофирмы «Чертас» Нижегородской области. Сравнительный анализ использования комбайнов по показателям производительности за сезон, коэффициенту технической готовности, эксплуатационным затратам показал, что экономически более выгодным является применение комбайнов Палессе GS12.

Ключевые слова: Эксплуатация зерноуборочных комбайнов, потери продукции, простой техники, математическая модель.

Kazakov, A.V.¹, Koshelev R.V.², Tulnev A.V.³¹PhD in Biology, ²PhD in Engineering, ³postgraduate student, Nizhny Novgorod state agricultural Academy**THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF USE OF MACHINES IN AGRICULTURAL PRODUCTION****Abstract**

The article suggests a mathematical model whether the choice of agricultural equipment for the farm taking into account its cost and operating costs. Presents data on the production operation of combine harvesters "CLAAS" Mega-370 and "Gomselmash" Palesse GS12 in terms of Agrofirma "Certas" the Nizhny Novgorod region. Comparative analysis of the use of combine harvesters on the performance of the season, the coefficient of technical readiness, operating costs showed that the economically more advantageous is the use of harvesters Palesse GS12.

Keywords: Operation of grain harvesters, loss of production, downtime of vehicles, mathematical model.

Кважнейшим технико-экономическим показателям машин в сельском хозяйстве в частности в растениеводстве относятся: надежность, прямые эксплуатационные затраты и цена техники, что в свою очередь предопределяет уровень затрат на эксплуатацию и потери продукции при возделывании сельскохозяйственных культур.

Современный рынок сельхозтехники предлагает широкую номенклатуру моделей зерноуборочных комбайнов для уборки зерновых колосовых отличающихся своими потребительскими качествами. При сравнительно сопоставимых параметрах и производительности импортные машины оказываются на порядок дороже отечественных моделей. Отсутствие методологических предпосылок, учитывающих условия конкретного хозяйства может привести к выбору комбайна, не отвечающего условиям потребителей. Рассмотрим подробнее некоторые факторы, влияющие на решение поставленной задачи на примере одного из хозяйств Нижегородской области.

Объектом исследования является парк зерноуборочных комбайнов в производственных условиях агрофирмы «Чертас» Нижегородской области за период 2012 - 2014 гг. В качестве объектов сравнения выступили комбайны Мега-370 и Палессе GS12. При выборе наиболее оптимального варианта зерноуборочного комбайна были использованы следующие критерии экономической эффективности: минимум прямых эксплуатационных затрат, уровень потерь продукции от простоя, а также анализировалась потребность в капиталовложениях.

Для сельскохозяйственного агрегата, связанного с уборкой, суточную производительность $W_{\text{сут}}$ выражает следующая формула:

$$W_{\text{сут}} = 0,1 B_p v_p T_{\text{см}} \tau k_{\text{см}}, \text{ га / сут} \quad (1)$$

где B_p и v_p — соответственно рабочие ширина захвата, м, и скорость движения, км/ч;

$T_{\text{см}}$ — продолжительность смены, ч;

τ — коэффициент использования времени смены;

$k_{\text{см}}$ — коэффициент сменности.

Вероятность пребывания агрегата в работоспособном состоянии можно принять равной τ [1]. С учетом этого коэффициент готовности K_g , с некоторым допущением, можно заменить коэффициентом использования времени смены τ [2].

$$K_g = \tau = \frac{T_p}{T_p + T_{\text{пр}}} \quad (2)$$

где T_p — время чистой работы, сут;

$T_{\text{пр}}$ — суммарное время простоев техники, сут.

По данным рассматриваемого хозяйства коэффициент готовности в среднем за три года составил $K_g = 0,91$ и $K_g = 0,83$ соответственно для комбайнов Мега-370 и Палессе GS12.

Выражение (2) определяет отношение средней производительности агрегата к нормативной. Подставив (2) в (1) получим:

$$W_{\text{сут}} = 0,1 B_p v_p T_{\text{см}} k_{\text{см}} \frac{T_p}{T_p + T_{\text{пр}}}, \text{ га/сут}$$

$$W_{\text{сут}} = 0,1 B_p v_p T_{\text{см}} k_{\text{см}} K_{\Gamma}, \text{ га/сут} \quad (3)$$

Выразим значение затягивания сроков Δt сверх установленных в зависимости от $K_{\tilde{a}}$

$$\Delta t = \frac{Q}{W_{\text{сут}} K_{\Gamma}} - \frac{Q}{W_{\text{сут}}} = \frac{Q(1 - K_{\Gamma})}{W_{\text{сут}} K_{\Gamma}}, \quad (4)$$

где Q — объем работ, га.

Графическая интерпретация этого выражения представлена на графике (рис.1). Поясним это на примере. Для Нижегородской области в среднем по хозяйствам убирается около 1000 га зерновых со средней урожайностью 30 ц/га. С учетом влияния расположения полей и микроклимата агротехнический срок уборки составляет 28 суток.

Общеизвестно, чем меньше срок уборки, тем меньше потери и выше валовой сбор продукции. При относительно небольших промежутках времени (до 20 дней) может быть принята линейная зависимость величины урожайности от превышения агротехнических сроков [4]:

$$U_i = U_{\text{max}} (1 - K_{\Pi} \Delta t), \text{ т/га} \quad (5)$$

где U_i — фактическое значение урожайности, т/га;

U_{max} — урожайность, соответствующая выполнению работ в оптимальные агротехнические сроки, т/га;

K_{Π} — коэффициент учета потерь продукции (в долях) при растягивании срока выполнения работы от оптимального на единицу времени, $K_{\Pi} = 0,030$, доля/сутки;

Δt — увеличение сроков уборки сверх оптимальных, сут.

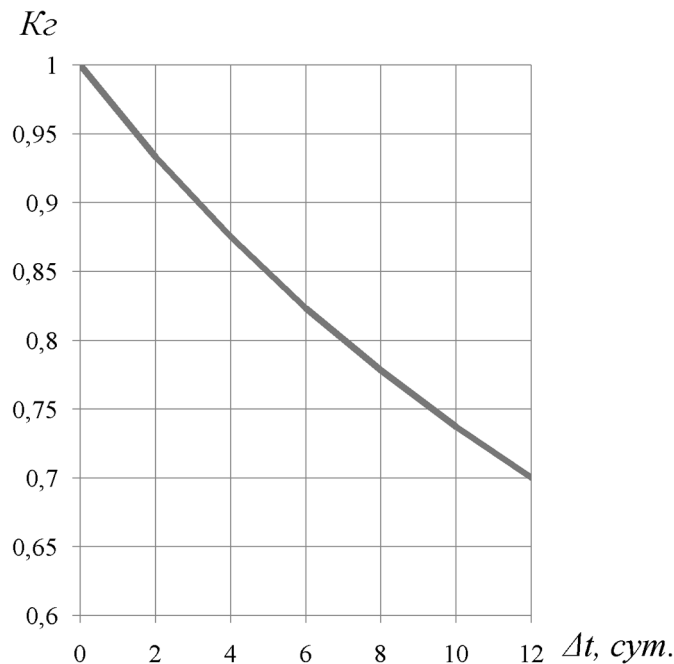


Рис. 1 – Затягивание сроков уборки в зависимости от коэффициента готовности K_{Γ}

Стоимостные потери Π от недобора урожая могут быть выражены зависимостью [4]

$$\Pi = U \Gamma K_{\Pi} Q \Delta t, \text{ руб.} \quad (6)$$

где U — биологическая урожайность, т/га;

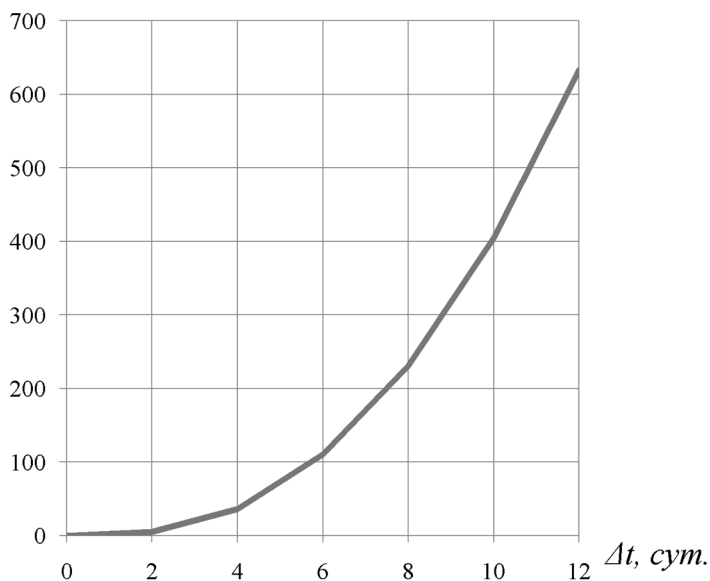
Γ — цена продукции, руб./т;

При учете K_{Γ}

$$\Pi = U \Gamma K_{\Pi} Q \frac{Q(1 - K_{\Gamma})}{W_{\text{сут}} K_{\Gamma}} = U \Gamma K_{\Pi} Q^2 \frac{(1 - K_{\Gamma})}{W_{\text{сут}} K_{\Gamma}}, \text{ руб.} \quad (7)$$

для выше описанной ситуации значения потерь наглядно представлены на графике рис. 2

П, тыс. руб

Рис. 2 – Зависимость потерь урожая пшеницы от превышения сроков уборки Δt

Рассмотрим далее производственную ситуацию на примере агрофирмы «Черта» в агрофирме имеются комбайны Мега-370 и Палессе GS12. Полученные показатели по работе данных комбайнов сведены в таблицу.

По данным хозяйства установлено, что коэффициент готовности зерноуборочного комбайна Мега-370 составил $K_r^{Мега\ 370} = 0,91$, для комбайна Палессе GS12 составляет $K_r^{Палессе\ GS12} = 0,83$.

Таблица 1 – Среднегодовые показатели работы комбайнов за 2012-2014 гг.

Показатели	Марка комбайна	
	«Палессе GS12»	«Мега-370»
Производительность, т/сезон	1534	1219
Прямые эксплуатационные затраты, руб/т	126,3	204,5
Коэффициент готовности, K_r	0,83	0,91
Срок эксплуатации комбайна, лет	6	6

При равных условиях для комбайна Мега-370 затягивание сроков произойдет на трое суток (рис. 1), при этом потери составят 20 тыс. руб. (рис. 2), для Палессе GS12 соответственно - на 5 суток, при потерях 80 тыс. руб. при предполагаемом валовом сборе в денежном выражении 12000 тыс. руб.

С точки зрения увеличения выхода валовой продукции (уменьшения потерь) для рассматриваемой ситуации, целесообразно использовать Мега-370. Однако нельзя однозначно утверждать, что использование данного комбайна выгодно по экономическим показателям. Так стоимость оплаты по кредиту за Палессе GS12 (кредит на покупку техники в «Россельхозбанке» составляет 25% годовых) составляет 1068 тыс. руб/год, а для Мега-370 - 1780,0 тыс. руб/год. Кроме этого прямые эксплуатационные затраты, связанные с уборкой зерновых, составили для комбайнов Палессе GS12 и Мега-370 соответственно 126,0 и 204,0 тыс.руб/год.

Исходя из вышесказанного, мы предлагаем в качестве оценки целесообразности выбора различных сельскохозяйственных машин следующее выражение

$$C_k^1 - C_k^2 < (y^1 - y^2) - (z^1 - z^2) \quad (8)$$

где C_k^1, C_k^2 — стоимость кредита на покупку соответственно рассматриваемых машин, как критерий эффективности капиталовложений, руб./год;

y^1, y^2 — прибавка урожайности соответственно от эксплуатации рассматриваемых машин, руб./год;

z^1, z^2 — прямые эксплуатационные затраты при использовании рассматриваемых машин, руб./год;

Преобразовав выражение (7) получим математическую модель (функцию) F целесообразности выбора рассматриваемых машин

$$F = ((y^1 - y^2) - (z^1 - z^2)) - (C_k^1 - C_k^2) \quad (9)$$

При $F > 0$ предпочтение отдается первой машине.

Выводы. Полученные данные показали, что использование комбайна Палессе GS12, при уборке зерновых в расчете на 1000 га при урожайности 30ц/га, по сравнению с Мега-370 экономически выгодно, т.к. $F = 797$ тыс. руб./год ($F > 0$).

Предложенная функция целесообразности использования рассматриваемой техники позволяет определить целесообразность закупки той или иной машины непосредственно в условиях каждого хозяйства. При увеличении уровня детализации условий и стратегии хозяйства, а так же поведения рынка, данная функция является технико-экономической моделью, применимой для всего машинно-тракторного парка хозяйства.

Литература

1. Зангиев, А.А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка/ Зангиев А.А., Лышко Г.П., Скороходов А.Н. — М.: Колос, 1996. — 320 с.
2. Пискарев, А.В. Анализ надежности технологической системы по производительности // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2010. - №11. - С. 3-4.
3. Пасин, А.В. К вопросу совершенствования методики расчета оптимального состава МТП / Пасин А.В., Потоцкий А.А. // Ресурсосберегающие технологии и технологические средства в агропромышленном комплексе. — Н. Новгород, НГСХА, 2010. — С. 43 - 47.
4. Киртбая, Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. 2-е изд., перераб. и доп./ Киртбая Ю.К. — М.: Колос, 1982. — 319 с.

References

1. Zangief, A. A. Industrial exploitation of machine-tractor Park/ zangief A. A., Lysko G. P., Skorokhodov A. N. — M.: Kolos, 1996. — 320 p.
2. Piskarev, V. A. reliability Analysis of technological systems of performance // Mechanization and electrification of agriculture. — 2010. - No. 11. - P. 3-4.
3. Pesin, A. V. improvement of the methodology for calculating the optimal composition of the ICC / Pashin A. V., Pototsky, A. A. // resource-Saving technologies and technological means in agriculture. — N. Novgorod, of agricultural Sciences, 2010. — S. 43 - 47.
4. Kirtbaia, Y. K. Reserves in the use of machinery and tractors. 2-e Izd., Rev. and add./ Kirtbaya Y. K. — M.: Kolos, 1982. — 319 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.126

Козлов А.В.¹, Алёшин А.Н.²

¹Кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный архитектурно– строительный университет,

²кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный архитектурно– строительный университет

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ-БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «СТРОИТЕЛЬСТВО» В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

Аннотация

В статье рассмотрена реализация комплекса лабораторных работ по дисциплине Железобетонные конструкции для бакалавров по направлению «Строительство» в рамках формирования у студентов профессиональных компетенций в соответствии с действующим Государственным образовательным стандартом.

Ключевые слова: железобетон, лабораторные испытания, образование.

Kozlov A.V.¹, Aleshin A.N.²

¹PhD in Engineering, associate Professor, Samara State University of Architecture and Civil Engineering,

²PhD in Engineering, associate Professor, Samara State University of Architecture and Civil Engineering

FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF STUDENTS OF BACHELORS IN A DIRECTION "BUILDING" IN THE FRAMEWORK OF THE LABORATORY PRACTICAL WORK ON DISCIPLINE "REINFORCED CONCRETE STRUCTURES"

Abstract

In the article the implementation of a complex of laboratory works on discipline of reinforced concrete structures for bachelors in a direction "Building" in the framework of formation of students professional competence in accordance with applicable State educational standards.

Keywords: reinforced concrete, laboratory tests, education.

Бетон можно считать «самым строительным» из всех существующих строительных материалов. Созданный и изготавливаемый исключительно для нужд строительства, каждый этап развития «искусственного камня» и как исторического феномена и как реального продукта рассматривается исключительно в плане вариантов его использования в несущих или ограждающих конструкциях. Суть технологии укладки бетона обуславливает уникальные конструктивные возможности «жидкого камня»: он принимает практически любую форму, что позволяет «материализовать» наиболее эффективные и рациональные архитектурные замыслы. С точки зрения состава бетон представляет собой различные по величине и форме зерна заполнителя, связанные в произвольную структуру цементным камнем, т.е. хаотично расположенные разноразмерные частицы, пустоты, микротрещины и капилляры, что обуславливает его высокую анизотропность. Малая прочность бетона на растяжение привела к необходимости его усиления, что привело к созданию особого композитного материала – железобетона, представляющего собой рациональное сочетание бетона и арматуры.

Многообразная зависимость свойств бетона от составляющих материалов (способа изготовления, условий твердения, вариантов устройства арматуры, её сцепления с бетоном, распределения внутренних усилий и пр.), обусловили невозможность понимания многих положений только путем теоретических расчётов (без

соответствующего экспериментального сопровождения), которые основаны на классических предпосылках, не охватывающих к тому же всю гамму известных факторов.

Таким образом, по своим свойствам, железобетон оказался далеко от «любимца» классической строительной механики – идеально упругого, однородного, изотропного тела, подчиняющегося закону Гука. Это вызывает большие сложности в понимании реальной работы железобетонных конструкций. Особенно у студентов, которые впервые сталкиваются с освоением навыков проектирования конструкций из такого сложного материала. В связи с этим на кафедре Строительных конструкций СГАСУ реализуется лабораторный практикум с использованием натуральных испытаний железобетонных конструкций [1, 2].

В программе лабораторного практикума реализовано 9 лабораторных работ, соответствующих параллельно читаемому лекционному материалу первой части курса железобетонных конструкций – основам силового сопротивления ЖБК.

Лабораторная работа №1 - «Определение расчётных характеристик бетона неразрушающими методами по контрольным образцам» формирует у бакалавров навыки определения прочностных характеристик бетона с использованием неразрушающих методов контроля прочности в сравнении с разрушающими. Лабораторная работа построена на основных положениях следующих нормативных документов:

1. ГОСТ 26633-2012 "Бетоны тяжелые и мелкозернистые";
2. ГОСТ 25192-2012 "Бетоны. Классификация и общие технические требования";
3. ГОСТ 18105-2010 "Бетоны. Правила контроля и оценки прочности";
4. ГОСТ 17624-2012 "Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности";
5. ГОСТ 10180-2012 "Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам";
6. ГОСТ 31914-2012 "Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций.

Правила контроля и оценки качества";

7. ГОСТ 13015-2012 "Изделия бетонные и железобетонные для строительства";

В состав лабораторной работы входят:

1. Определение средней прочности бетона контрольных кубов ультразвуковым методом и методом ударного импульса;
2. Определение единичных значений прочности бетона на сжатие разрушающим методом по тем же контрольным образцам-кубам;
3. Камеральная обработка и анализ результатов испытаний, определение прочностных характеристик испытываемого бетона.

Здесь следует отметить, что из бетона одного состава, помимо выполнения контрольных образцов кубов для данной лабораторной работы, изготавливаются образцы балок для последующих лабораторных работ. Полученные на данном этапе прочностные характеристики бетона используются при проверочных расчётах в последующих лабораторных работах.

При проведении лабораторной работы учебная группа делится на подгруппы по 4 – 6 человек. Каждая подгруппа обеспечивается рабочим местом, соответствующим оборудованием и заданием на выполнение определенной части лабораторной работы. По выполнении требуемого объема работ подгруппы меняются местами – таким образом каждая подгруппа самостоятельно выполняет все задания лабораторной работы.

Для определения прочностных характеристик неразрушающими методами используется ультразвуковой прибор определения прочности бетона УК1401, измеритель прочности бетона ОНИКС 2.6. Для испытания образцов-кубов разрушающими методами используются пресса П-50 и П-250.

Лабораторная работа №2 - «Определение расчётных характеристик арматурной стали» направлена на формирование у бакалавров навыков определения прочностных характеристик арматуры в соответствии с ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение».

В состав лабораторной работы входят:

1. Определение площади поперечного сечения образца;
2. Разметка по длине образца рисками;
3. Осуществление испытаний образца на разрывной машине Р-100;
4. Камеральная обработка результатов испытания;
5. Определение относительного удлинения арматуры, временного сопротивления и предела текучести.

Лабораторные работы №3 и №4 - «Исследование работы железобетонной балки под действием изгибающего момента» имеют общую методологическую основу и направлены на изучение напряженно-деформированного состояния нормальных сечений образца в зоне чистого изгиба на всех стадиях работы. Различие заключается в характере армирования конструкций - нормально армированные и переармированные образцы, моделирующие пластический и хрупкий характеры разрушения.

В состав лабораторных работ входят:

1. Выполнение проверочных расчетов образцов с учётом прочностных характеристик материалов, полученных в предыдущих лабораторных работах;
2. Натурные испытания образцов с:
 - а) фиксацией фактической нагрузки трещинообразования и разрушения
 - б) измерением (с помощью тензодатчиков и соответствующего оборудования) относительных деформаций в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре, на всех этапах загрузки
 - в) изменением фактических прогибов;
3. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

Испытания проводятся на специальных лабораторных установках (фото 1 - 2). Для каждой подгруппы студентов (численностью до 4 - 6 человек), предусмотрена отдельная установка.

Лабораторная работа №5 - «Исследование работы железобетонной балки в зоне действия изгибающего момента и поперечной силы» направлена на исследование характера напряжённо – деформированного состояния изгибаемого железобетонного образца в наклонных сечениях. Состав лабораторной работы в целом аналогичен составам работ №3 и №4. Образцы отличаются особым характером армирования, обеспечивающим разрушение по наклонному сечению.



Фото 1 – Учебная лаборатория



Фото 2 – Установки для исследования изгибаемых элементов

Лабораторная работа №6 - «Исследование влияния предварительного напряжения на трещиностойкость и прогибы железобетонной балки» состоит из следующих основных этапов:

1. Изучение способа создания предварительного натяжения конструкций методом «натяжение на бетон»;
2. Испытание балки без предварительного напряжения и с предварительным напряжением, нагружением до образования нормальных трещин с фиксированной шириной раскрытия;
3. Сравнение результатов испытаний балки без предварительного напряжения и балки с предварительным напряжением.

Лабораторная работа выполняется на специальной установке (фото 3).

Лабораторная работа №7 - «Исследование работы железобетонной колонны на действие внецентренного сжатия» направлена на изучение напряженно-деформированного состояния внецентренно нагруженного железобетонного образца на всех стадиях работы.

В состав лабораторной работы входят:

1. Поверочный расчёт внецентренно сжатого железобетонного элемента с определением характера работы образца (определение случая больших или малых эксцентриситетов);
2. Определение теоретической разрушающей нагрузки экспериментального образца;
3. Испытание внецентренно сжатого железобетонного образца на специальных лабораторных установках (фото 4);
4. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов.



Фото 3 – Установки для исследования изгибаемых предварительно напряжённых элементов



Фото 4 – Установки для исследования внецентренно сжатых элементов

Лабораторные работы №3 – №7 основаны на основных положениях следующих нормативных документов:

1. СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры»;
2. СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции»;
3. ГОСТ 8829-85 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости.

Лабораторная работа №8 - «Определение прочностных характеристик кирпича» направлена на изучение физико-механических свойств искусственных камней и формирование навыков проведения их испытаний на сжатие и изгиб.

В состав лабораторной работы входят:

1. Внешний осмотр кирпичей для их оценки по внешним признакам;
2. Подготовка к испытаниям на сжатие и изгиб;
3. Испытание кирпичей на сжатие и изгиб;
4. Определение марки кирпича по результатам испытаний.

Испытания проводятся на прессе П-250.

Лабораторная работа основана на основных положениях следующих нормативных документов:

1. ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»;
2. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции».

Лабораторная работа №9 - «Определение характера деформирования бетонного образца при кратковременном сжатии» посвящена изучению деформативных свойств бетона при кратковременном нагружении. Целью работы является построение графика зависимости между напряжениями в бетоне и его относительными деформациями. Экспериментальный образец представляет собой бетонный цилиндр, который помещается в специальную тензометрическую трубу, закрываемую торцевыми крышками. Испытания проводятся на лабораторном прессе П-50. Во время испытаний относительные деформации образца фиксируются с помощью специального оборудования.

Все лабораторные работы (за исключением работы №6) проводятся в подгруппах по 4 – 6 человек, что позволяет максимально вовлечь студентов в образовательный процесс.

Таким образом, реализованный лабораторный практикум эффективно формирует общепрофессиональные компетенции ОПК-1 – ОПК-4 и профессиональные компетенции ПК-1 – ПК-3, ПК-9 – ПК-11 в соответствии с Государственным образовательным стандартом третьего поколения ГОС 3+.

Литература

1. Мурашкин Г.В., А.И. Снегирева А.И.. Лабораторный практикум по железобетонным и каменным конструкциям: - М.: Изд-во АСВ, 2006.- 120 с.
2. Мурашкин Г.В., Бородачев Н.А., Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. Инновационные методики при изучении теории и практики проектирования железобетонных конструкций и сооружений // Современные проблемы науки и образования. – 2008. – № 4. – С. 88-91

References

1. Murashkin G. V., A. I. Snegirev A. I. Laboratory workshop on reinforced concrete and masonry construction: - M.: Publishing house of the DIA, 2006.- 120 p.
2. Murashkin G. V., Borodachev N. And., Snegirev A. I., Murashkin V. G. Innovative methods in the study of the theory and practice of design of reinforced concrete structures and structures // Modern problems of science and education. – 2008. – No. 4. – P. 88-91

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.270

Кротова Е.Л.¹, Андреев Р.А.²

¹Кандидат физико-математических наук, доцент, ²ORCID:0000-0001-8875-2802 студент,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

АНАЛИЗ РЫНКА ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

Аннотация

В данной статье рассмотрен сегмент облачных технологий в России, и проанализированы их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: облачные вычисления, безопасность, SaaS, IaaS, PaaS.

Krotova E.L.¹, Andreev R.A.²

¹PhD in Physics and Mathematics, associate professor, ²ORCID:0000-0001-8875-2802, student,
Perm National Research Polytechnic University

ANALYSIS OF CLOUD COMPUTING SEGMENT IN RUSSIA

Abstract

This paper reviews segment of cloud computing in Russia, its advantages and problems.

Keywords: cloud computing, security, SaaS, IaaS, PaaS.

Nowadays cloud computing became extremely popular. They attract users with the big list of advantages such as profitability, mobility, availability and flexibility. Now the market of cloud computing in Russia is onwards and upwards. If in 2009 according to IDC agency the market size of the public cloud services in Russia was \$4.8 million, then it is expected that the market size of this segment will come to more than \$460 million by 2016. In general, growth of the Russian cloudy market outgrows world level, because in the conditions of crisis customers need to save money and cloud services allow them to do it. Also, popularity of clouds is caused not by only economic factors. Today people use various mobile devices – smart phones, tablet computers, laptops which allow working with information in a new way. If the company wants to provide access to corporate information systems to the employees using mobile communication channels, the easiest way is using a cloud. But what is a cloud computing? This paper reviews different classifications of cloud technologies, their advantages and disadvantages.

At first sight definition of cloud computing is very confused. Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand access to a shared pool of configurable computing resources (for example, servers, appendices, networks, systems of storage and services) which can be quickly provided and released with the minimum efforts on management and need of interaction with provider. At the same time there are several models of cloud services. There are some of them:

Everything as a Service.

At such type of service user will have everything from firmware to management business processes, including interaction between users. User should have only access to the Internet. This type of service is more general concept in relation to those given below, which are more specific.

Security as a Service.

This type of service gives an opportunity to users quickly develop products allowing the safe using of web technologies, safety of email correspondence and also safety of local system. All of these opportunities allow users of this service saving on expansion and maintenance of their own security system.

SaaS, Software as a Service.

Software – provider applications running on cloudy infrastructure – is provided to the consumer.

PaaS, Platform as a Service.

Means for expansion of the applications developed with use of the tools and programming languages supported by provider are provided to the consumer.

IaaS, Infrastructure as a Service.

Means of data processing, storage, networks and other basic computing resources which the consumer can develop and backup any software on, including operating systems and appendices are provided to the consumer [1].

Today the SaaS services are in the greatest demand in Russia, it is connected with the client desire to maintain the systems independently that, in turn, is caused by a large number of manual created programs and the mutual suspicious of clients to the market. Conservative approach of major companies to planning their infrastructure is clear. They do not want to lose those advantages that their own unique environment gives. Therefore, they consider the possibility of obtaining turnkey computing capacities instead of services based on the certain software [2].

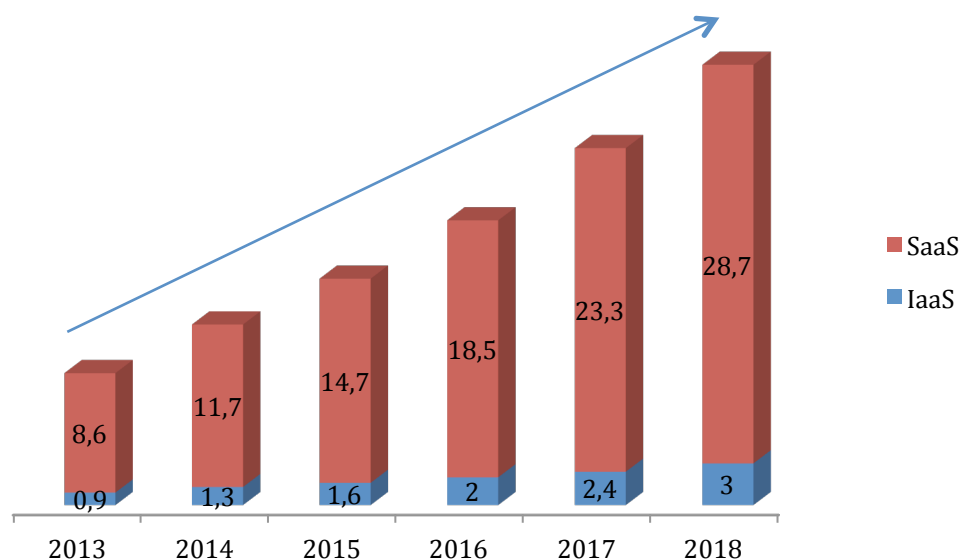


Fig. 1 – A market dynamic of cloud services in Russia, bln. rubles

Now there will be considered other classification of cloud services:

The public cloud is an IT infrastructure used by many companies and services at the same time. Users of these clouds have no opportunity to operate and serve this cloud; all responsibility on these questions is attached to the owner of this cloud. Any company or an individual user can become the subscriber of the offered services. These services offer easy and affordable way of expansion of websites or business systems with great opportunities for scaling which would be inaccessible in other solutions. Examples: online services of Amazon EC2 and Simple Storage Service (S3), Google Apps/Docs, Salesforce.com, Microsoft Office Web.

The private cloud is the safe IT infrastructure controlled and operated for the benefit of the only one organization. The organization can operate a private cloud independently or charge this task to the third party contractor. The ideal private cloud is the cloud developed in the territory of the organization, served and controlled by its employees.

The hybrid cloud is the IT infrastructure using the best qualities of public and private clouds. Often such type of clouds is used when the organization has the seasonal activity cycle. As soon as the internal IT infrastructure proves unequal to current tasks, a part of capacities is thrown on a public cloud (for example, large volumes of statistical information which are not valuable for the enterprise in a raw state). However, clouds are not always public, especially in our country [2,3].

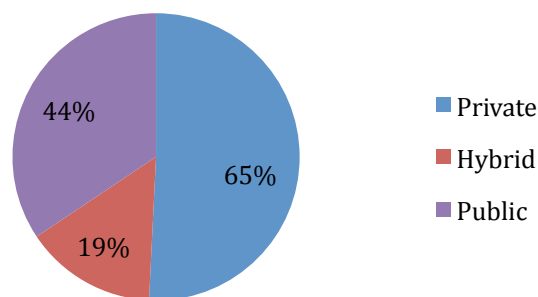


Fig.2 – Preferences of using clouds in Russia

It does not mean that private clouds will become less. On the contrary, their number will grow as, in comparison with public clouds, they provide higher security level and allow easier integration of non-standard solutions and development of better controllability. The additional contribution creates lack of accurate regulations of work with confidential information in public clouds, for example, with private information. Now, controllers do not accurately stipulate the principles of processing of this information, and it hinders development of the market of public cloud services in the corporate environment.

To the word about a regulation: the Ministry of Communications and Mass Communications of the Russian Federation will prepare the law on using of clouds in government entities.

April 29, 2013 the Ministry of Communications and Mass Communications of the Russian Federation published the technical assignment for performance of research on the subject of "Regulatory support of availability of cloud computing for public authorities and local governments".

Growth of popularity of cloud computing technology and its advantage is noted in the document. Adoption of cloud technology by public authorities and local governments is called promising. Major limiting factor of using cloud technology in government entities is the lack of statutory regulation.

The Ministry of Communications summarizes that there is no regulatory legal act establishing the basic rules of using clouds. In this regard it is necessary to prepare offers and legal acts on using clouds in government agencies. A researcher should carry out an analysis of advantages of using cloud computing by government agencies, including austerity budget at the expense of expenditure cut on the equipment and effectivization of organization computing resources using, comparative analysis of the existing models of cloud services – SaaS, IaaS and PaaS and models of expansion of clouds – private and public, taking into account strengths and weaknesses of each of them [3].

Except that there is no document regulating usage of cloud computing in Russia there is a list of problems connected with their use. Here only some of them:

Permanent connection with a network. It is necessary to have permanent connection with the Internet for gaining access to the cloud services. However, it is not such a great disadvantage today especially with arrival of mobile communication technologies (3G and 4G).

Software and its customization. Software which is possible to develop on "clouds" and to provide to the user is limited. The software user has no opportunity to configure software for his own purposes.

Confidentiality. In present, confidentiality of the data stored on public "clouds" causes many disputes, but in most cases experts agree that the documents most valuable to the company is not recommended to store on public "cloud" because today there is no technology which would guarantee the 100% confidentiality of the stored data.

Reliability. If you lost information stored in "cloud", you lost it forever.

Security. "Cloud" is rather reliable system, however after penetration the malefactor gets access to huge storage of data. One more minus is using systems of virtualization in which kernels of standard OS such as Linux, Windows, etc. are used as a hypervisor that allows using viruses.

According to providers of cloud services, information security in a cloud is a complex problem. Foreign vendors of information security, as a rule, do not hurry with passing through certification of Federal Service for Technical and Export Control (FSTEC) and Federal Security Service (FSB) in consequence of which their products have certain use limitations in the Russian market.

The choice of location of information systems (on the platform, in a cloud or in data processing centre of provider) depends on requirements of the client to information security. These requirements are very different and they can provide own metrics and appraisal systems. All cloud providers face similar requirements which should be considered.

Besides, information security is very conservative area; changes in this area are in process more slowly, than in IT. The new technologies and products appearing in the market are estimated by security specialists from a risk point of view, but often even distinct advantages in economic efficiency cannot move the prepossession and unavailability of information security services to follow technological trends. For large clients and systems of big scale expansion of a private cloud and existence of dedicated channel to their own office becomes a first choice. However client should resolve security and compliances issues in the same way even if servers and data are placed locally.

References

1. Thomas E., Zaigham M., Ricardo P. Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture P. 64-66
2. [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные_сервисы_\(рынок_России\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные_сервисы_(рынок_России))
3. http://www.cnews.ru/reviews/oblachnye_servisy_2013/articles/oblachnye_tehnologii_vse_eshche_v_ozhidanii_vzryva_nogo_rosta

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.094

Кудаков А.В.

ORCID: 0000-0002-0456-1847, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ**Аннотация**

Жесткая конкуренция вызывает необходимость непрерывного совершенствования качества продукции и/или услуг, которое непосредственно зависит от уровня компетентности персонала предприятий. В условиях быстро изменяющихся требований к квалификации работников актуальным является формирование системы мониторинга персонала предприятия. В статье рассмотрены особенности разработки автоматизированной системы адаптивного тестирования знаний персонала на основе сервисно-ориентированной архитектуры с использованием моделей, повышающих достоверность оценки компетентности персонала.

Ключевые слова: система менеджмента качества, автоматизированная система тестирования знаний персонала, сервисно-ориентированная архитектура, многоагентные системы.

Kudakov A.V.

ORCID: 0000-0002-0456-1847, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

SYSTEM FOR MONITORING OF THE COMPETENCE OF ENTERPRISE' PERSONNEL**Abstract**

Tough competition brings to the necessity of continuous improvement of the production/services quality, which is directly related with the level of enterprises' personnel competency. Under the rapidly fluctuated requirements to the qualifications of employees the forming of the System for monitoring of the competence of enterprise' personnel becomes actual. The specifics of the development of automated system for testing of knowledge of the personnel, based on service-oriented architecture with using of models which provide the increasing of validity of the assessment of personnel competency, are considered in the present article.

Keywords: quality management system, automated system for testing of knowledge of the personnel, service-oriented architecture, multi-agent systems.

На современном этапе развития экономики повышается конкуренция предприятий на внутреннем рынке, усиливается борьба за выход на мировые рынки. К документам, подтверждающим стабильность, надежность и перспективность компании, добавился сертификат соответствия системы менеджмента качества (СМК) требованиям международного стандарта ISO 9001. Грамотное внедрение СМК позволяет повысить управляемость компании, конкурентоспособность, качество продукции и услуг, снизить издержки. Одновременно с повышением требований к качеству выпускаемой продукции и услуг ужесточаются требования к персоналу предприятия.

Очевидно, что для обеспечения выпуска продукции высокого качества компетентность персонала предприятия должна соответствовать определенным требованиям. В современных условиях рыночной экономики эти требования постоянно меняются, необходимо осуществлять постоянный мониторинг компетентности персонала с тем, чтобы выявлять потребности в дополнительном обучении, повышении квалификации, профессиональной переподготовке. Такая система мониторинга является частью СМК и требует соответствующей информационной поддержки.

Целью исследования является разработка автоматизированной системы адаптивного тестирования знаний персонала на основе сервисно-ориентированной архитектуры с использованием моделей, повышающих достоверность оценки компетентности персонала.

Используемые методы устной или письменно-графической проверки компетентности персонала по-прежнему являются частью системного подхода к контролю знаний. Вместе с тем для реализации непрерывного мониторинга уровня знаний требуется автоматизация этого процесса, что обеспечит повышение оперативности, объективности и эффективности контроля [1]. Компьютерное тестирование обладает и некоторыми недостатками, в частности при помощи тестов легче всего проверять формальное овладение структурированным материалом. Сложнее проверить глубинное понимание предмета, способность к рассуждениям и формированию логических цепочек и выводов [2]. Несмотря на эти и другие недостатки, подобные системы являются эффективным технологическим инструментом для измерения уровня знаний и для организации управления выявленными несоответствиями.

Анализируя технологии, используемые для практических реализаций подобных систем, можно сделать вывод, что чаще всего в них применяют те же архитектуры, алгоритмы, программно-инструментальные средства, что и в автоматизированных системах других отраслей. Можно хронологически проследить историю развития систем тестирования знаний, которая началась с «монолитных» систем, установленных на каждом компьютере учебной лаборатории. На смену пришли «клиент-серверные» системы, предполагавшие установку на каждый компьютер клиента, предназначенного для ведения диалога с пользователем и сервера для хранения тестов и результатов тестирования. Современный подход к реализации подобного рода систем предполагает многоуровневую распределенную сервис-ориентированную архитектуру [3]. Логика предметной области реализуется в виде отдельных модулей, которые могут быть как библиотеками методов, так и web-сервисами. Уровень доступа к данным отделяет физическую базу данных от других уровней системы.

В последние годы наблюдается интенсивное применение моделей [4] и методов искусственного интеллекта в системах тестирования. Следует отметить современные тенденции к моделированию и реализации систем тестирования как многоагентных систем. Автором разработана модель генератора выборки тестовых заданий, который использует агентов, реализующих функцию повышения объективности контроля [5]. На основе предложенной модели реализован программный модуль, функции которого заключаются в том, чтобы испытуемому в ходе генерации случайной выборки тестовых заданий не попадались «плохие» задания. Предложена модель нечеткого оценивания знаний на основе диалога с пользователем, в ходе которого он может выразить свою степень уверенности

в «правильности» своего ответа на тестовое задание. При оценке качества знаний применяются модели теории распознавания образов. Процесс распознавания состоит в том, что системе предъявляется неизвестный образ (набор признаков), необходимо определить, к какому из эталонных образов он ближе всего относится.

В детерминистском подходе основным методом является проведение между эталонными образами разделительной гиперповерхности. Такой подход требует четкого описания эталонов, чтобы между ними можно было провести разделительную границу. Если эта граница описывается линейными уравнениями, то задача решается просто. Если же разделительная граница имеет нелинейный характер, то задача в большинстве случаев также решается с помощью смены координат. Задача не решается в случае перекрытия эталонов, когда по какой-то части координат есть перекрытия и они распространяются на несколько эталонов.

При использовании статистического подхода в распознавании образов используются законы распределения случайных процессов. Наиболее распространенными являются нормальные законы распределения. Такие кривые можно задать функцией плотности вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},$$

где m – среднее значение, σ^2 – дисперсия случайной величины.

Для n -мерного нормального распределения функция плотности вероятности может быть определена как:

$$f(x_1 x_2 \dots x_n) = (2\pi)^{-n/2} \sqrt{|A|} e^{-[X-M]^T A [X-M] / 2}.$$

В этом выражении M – это математическое ожидание многомерного вектора X , а A – обратная матрица ковариаций вектора X , т.е. $M = M(X)$, $A = V^{-1}$, где V – положительно определённая ковариационная матрица вектора X .

В детерминистском подходе используется два метода классификации:

1. Строятся решающие функции для всех эталонов ε_i в виде:

$$d_i = x^T \varepsilon_i - \frac{1}{2} \varepsilon_i^T \varepsilon_i, i = [1, \dots, m]$$

Определяется $\max(d_i)$ и тогда исследуемый образ x причисляется к i эталону ε_i , у которого d_i максимальное.

2. Между эталонами строятся разделяющие границы как $d_i - d_j = 0$. Полученное уравнение является разделяющей границей. Если в это уравнение подставить значения искомого образа x , то по знаку $d_i - d_j = 0$ образ x соотносят к классу i или j .

Эти принципы применимы и для статистического подхода. Весь вопрос только в том, какого уровня описания достаточно. Эталоны описываются в виде точки или массив точек. Иными словами, это признаки $P_k, k = [1, \dots, p]$. Если же массив обширен, и не удастся его свести к какой-то математической форме, то применяются статистические аппроксимации, в частности, с использованием алгоритма Роббинса-Монро.

В отличие от этих методов, обучаемые классификаторы образов более автоматизированы. Обучающая выборка может содержать в качестве эталона не один, а несколько образов, к которым предъявляется только одно требование: они не должны входить одновременно в несколько эталонов. В результате формируется вектор весов W разделительной границы. Простым алгоритмом обучения является алгоритм персептрона, который после пополнения всех образов обоих эталонов и умножения одного из них на -1 , имеет вид:

$$W(k+1) = \begin{cases} W_k, & \text{если } W^T(k)x(k) > 0 \\ W_k + cx(k), & \text{если } W^T(k)x(k) \leq 0 \end{cases}$$

где c – положительное корректирующее приращение (обычно равное 1).

Существуют алгоритмы, которые обеспечивают ускоренный процесс поиска удовлетворительного решения и указывают, когда отсутствует разделимость классов.

Многое из теории распознавания образов используется экспертными системами. В экспертных системах обучающая выборка задается экспертом, при этом эксперт может ее изменять. В экспертных системах успешно применяется нечеткая логика. Нечеткие множества допускают перекрытие распознающего объекта со многими эталонами, поэтому больше подходят для диагностики уровня знаний. В теории нечетких логик любая переменная является функцией другой переменной, отражающей истинность основной переменной. Например, класс континуальных логик $F(x)$, основанных на работах Лотфи Заде, где из элементов четкого множества $x \in X$ образуется нечеткое множество A путем использования элементов из X , присваивая им степень принадлежности к множеству A :

$$A = \{x, \mu x\}, \text{ где } x \in X \text{ и } \mu \in \{0 \dots 1\}.$$

Автором введено понятие «диагностической» матрицы, определяющей связи между признаками и событиями и позволяющей можно решать задачи синтеза и анализа. Участниками процесса диагностики являются пользователь и эксперт, который определил перечень признаков и событий и установил между ними связь, т.е. создал базу знаний. Модель диагностируемого объекта строится по типу отношения «признак-событие» в лингвистических значениях истинности (ЛЗИ). Далее устанавливаются количественные связи между признаками и событиями. Для выработки заключения необходимо ЛЗИ преобразовать в числовые значения истинности (ЧЗИ). Составление множества диагностических матриц позволяет привлекать экспертов узких специальностей, а объединение матриц в иерархическую структуру позволяет более точно решать многокритериальные задачи. Проведенные автором исследования доказали возможность применения диагностических матриц в задаче оценки компетентности персонала.

Разработана модель автоматизированной системы тестирования знаний на основе сервисно-ориентированной архитектуры, показанную на рисунке 1.

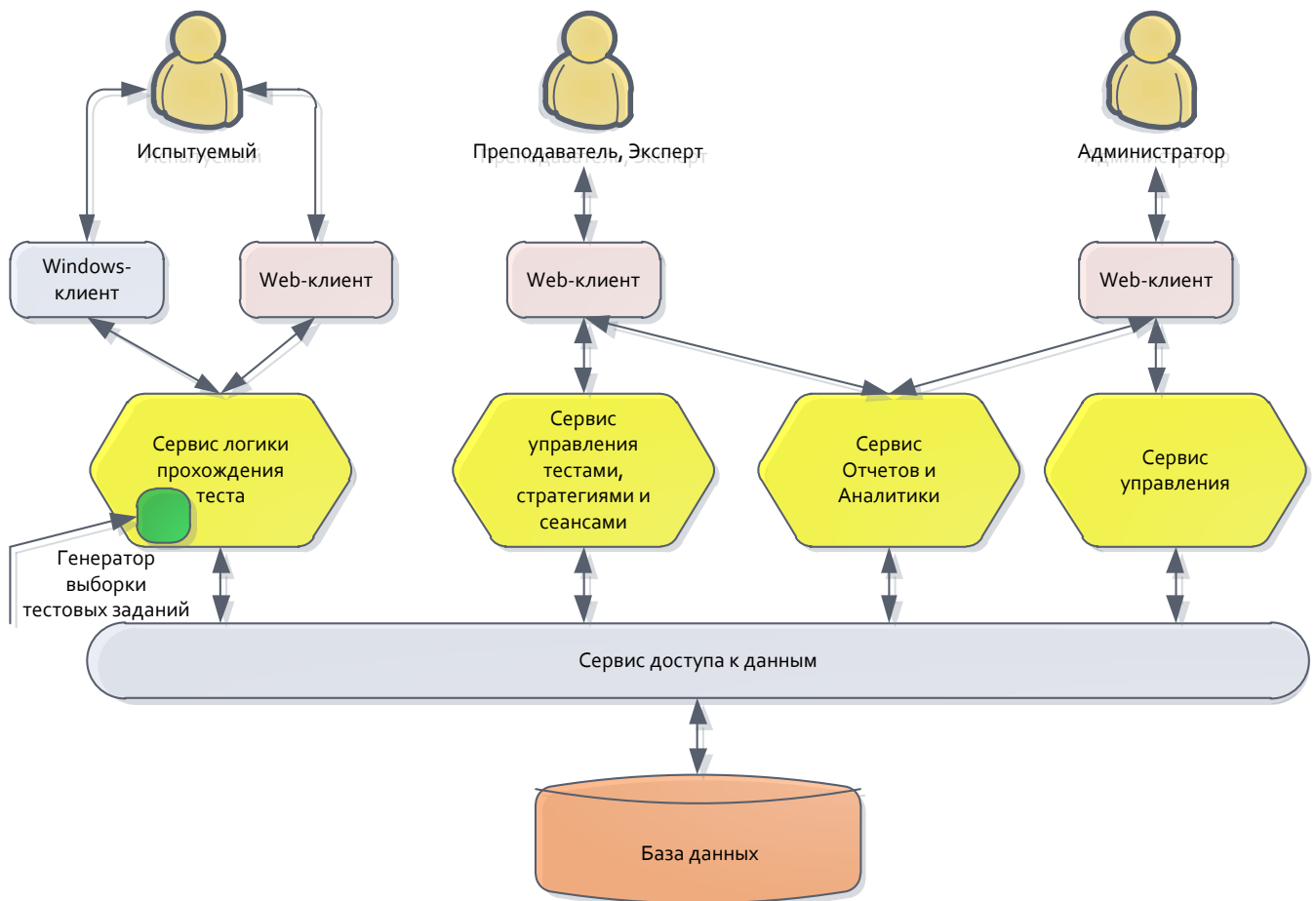


Рис. 1 – Структурная схема системы тестирования на основе сервис-ориентированной архитектуры

Система тестирования в такой модели может включать в себя следующие сервисы:

- сервис управления системой;
- сервис управления тестами, стратегиями и сеансами;
- сервис отчетов и аналитики;
- сервис логики прохождения теста.

Одной из компонент сервиса, реализующего логику прохождения теста, является генератор выборки тестовых заданий, показанный на рисунке 2. Работа генератора заключается в формировании уникальной выборки тестовых заданий для каждого испытуемого. Для решения задачи адаптивного тестирования генератор реализован на принципах агентного подхода, в его состав входят агент качества тестового задания и агент качества теста.

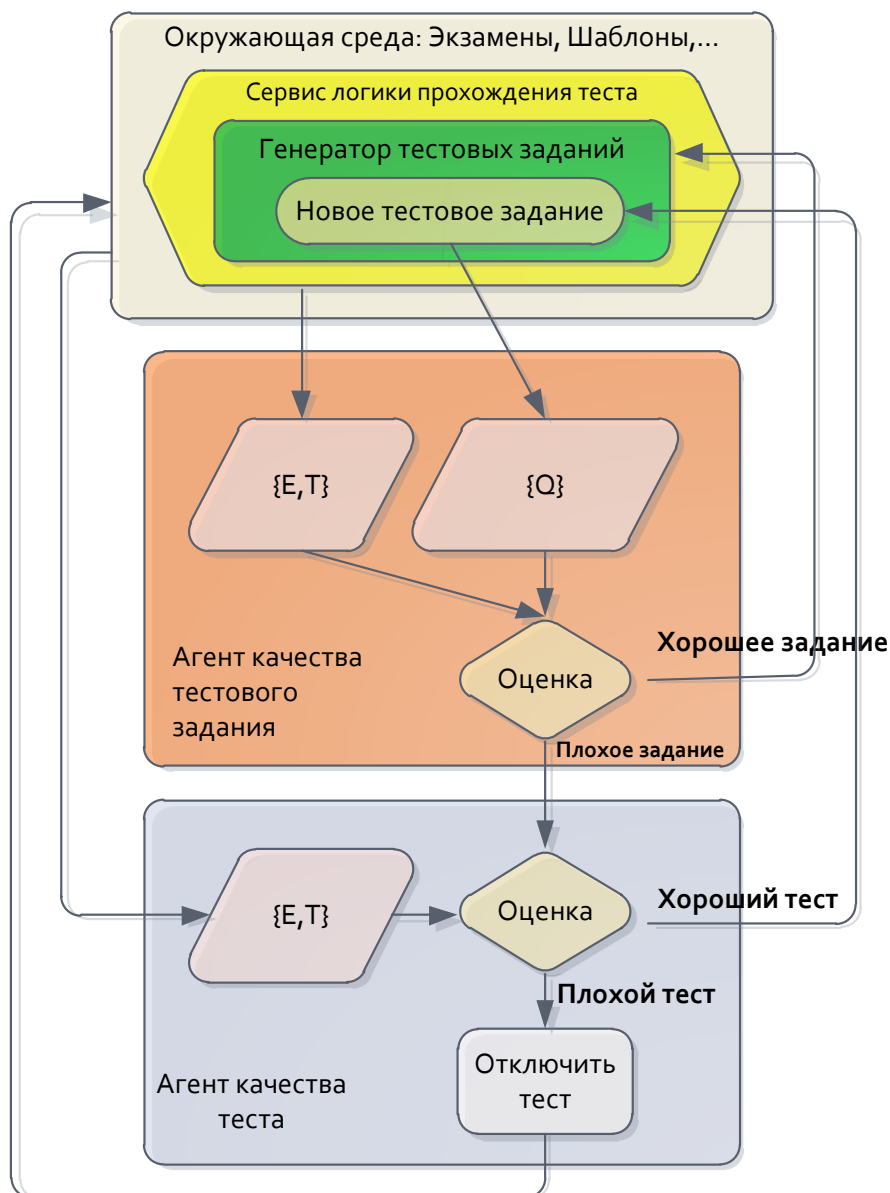


Рис. 2 – Генератор тестовых заданий

Сервисно-ориентированная архитектура рассматриваемой автоматизированной системы тестирования представляет интерфейс, который позволяет интегрировать в нее новые модули. Это позволит выбирать различные стратегии подсчета итогового балла в зависимости от потребностей, которые могут быть реализованы с помощью web-сервисов.

В агенте оценки качества тестов предлагается реализовать нечеткую оценку качества тестов. Оценка качества тестов проводится на основе нечетких понятий (ЛЗИ): «очень плохой», «плохой», «средний», «хороший», «очень хороший». Числовые значения истинности задаются экспертом.

Разработанная автоматизированная система тестирования знаний прошла апробацию и успешно используется в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. За время эксплуатации система претерпела существенные изменения и к настоящему времени эту систему можно охарактеризовать как распределенную и многоуровневую. В системе реализована комплексная модель защиты информации на всех уровнях многоуровневой архитектуры распределенного приложения. В качестве сервера баз данных может быть использован Microsoft SQL Server версии 8 или последующими версиями.

Поскольку система разрабатывается для оценки компетентности персонала как часть СМК предприятия, предполагается, что экспертами, авторами тестов являются представители работодателя, специалисты в предметной области. Однако следует заметить, что данная система ориентирована не только на получение внутренней оценки, она может быть рекомендована для использования в центрах независимой оценки компетентности персонала. В данном случае осуществляется внешняя оценка соответствия квалификации сотрудника тем требованиям, которые установлены к компетенциям сотрудников, занятых в выполнении определенного вида деятельности.

Литература

1. Речинский А.В. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Автоматизация творческого процесса: учебное пособие / А.В. Речинский, А.М. Яшин. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 128 с.
2. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р., Яшин А.М. Формирование поля знаний на примере психодиагностики // Известия Российской академии наук. «Теория и системы управления», 1988, № 5, с. 72–85.

3. Пырлина И.В. Риски и выбор оптимальных проектов: сервис-ориентированная архитектура информационных систем // Управление большими системами, 2013, № 45, с. 135–175.
4. Моделирование систем и процессов: учебник. / Волкова В.Н., Козлов В.Н. и др. – М.: Изд-во «ЮРАЙТ», 2015. – 592 с.
5. Кудakov А.В. Автоматизированная система контроля и оценки знаний // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Информатика. Телекоммуникации, Управление», 2010. Т. 5, № 108, с. 221–229.

References

1. Alexander V. Rechinskii. Intellectual technologies and representation of knowledge. Automation of a creative process: tutorial / A.V. Rechinskii, A.M. Yashin. – Spb.: Polytechnic University Press, 2010. – p. 128.
2. T.A. Gavrilova, K.R. Chervinskaia, A.M. Yashin. Forming of the field of knowledge on example of psychodiagnostics // Transactions of the Russian Academy of Sciences. Theory and systems of control, 1988, No. 5, pp. 72–85.
3. I.V. Puirina. Risks and selection of optimal projects: service-oriented architecture of information systems // Control of large systems, 2013, No. 45, pp. 135–175.
4. Modeling of systems and processes: handbook / V.N. Volkova V.N. Kozlov, others. – Moscow: Publishing house URAIT, 2015. – 592 p.
5. Alexander V. Kudakov. Automated system for inspection and assessment of knowledge // St. Petersburg State Polytechnic University Journal. “Computer Sciences, Telecommunication and Control Systems”, 2010. Vol. 5, No. 108, pp. 221–229.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.236

Кудряков О.В.¹, Варавка В.Н.², Забияка И.Ю.³, Морозкин И.С.⁴;

¹ ORCID: 0000-0002-1462-4389, профессор, доктор технических наук, Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Россия); ² профессор, доктор технических наук, Донской государственный технический университет; ³ аспирант, Донской государственный технический университет; ⁴ доктор технических наук, Ростовский-на-Дону государственный университет путей сообщения

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МУЛЬТИСЛОЙНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация

Работа посвящена изучению 2D-наноконпозиционных материалов различных металлических и металлокерамических систем. Композиты получали путем ионно-плазменного осаждения в вакууме в виде мультислойных покрытий с толщиной слоев нанометрического диапазона. Типология исследованных покрытий включала чередующиеся слои покрытия различного химического состава в сочетаниях: металл-металл, металл-неметалл, металл-керамика, керамика-керамика. Приведены результаты металлофизического исследования структуры и свойств покрытий следующих систем: Ti/C, Ti/Mo, TiN/MoN, Ti/AlSi, TiN/AlSiN, Ti/Zr(Nb), TiN/Zr(Nb)N. Полученные данные актуальны, в частности, при использовании покрытий для защиты различных узлов энергетического, компрессорного, метеорологического оборудования от каплеударной эрозии.

Ключевые слова: наноконпозиционные материалы, структура и свойства покрытий, индентирование, склерометрия.

Kudryakov O.V.¹, Varavka V.N.², Zabyaka I.Yu.³, Morozkin I.S.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-1462-4389, Professor, PhD in Engineering, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia); ² Professor, PhD in Engineering, Don State Technical University; ³ Postgraduate student, Don State Technical University; ⁴ PhD in Engineering, Rostov-on-Don State Transport University

STRUCTURE AND PROPERTIES OF MULTILAYERED NANOCOMPOSITE COATINGS

Abstract

The paper is devoted to research of 2D-nanocomposite materials of various metal and ceramic-metal systems. Composites were received by ion-plasma sedimentation in vacuum in the form of multilayered coatings, which had a thickness of layers within nanometric range. The typology of the studied coatings included the alternating coat layers of various chemical composition in combinations: metal-metal, metal-nonmetal, metal-ceramics, ceramics-ceramics. Results of the metal-physical researches of coatings of the following chemical systems are given in the paper: Ti/C, Ti/Mo, TiN/MoN, Ti/AlSi, TiN/AlSiN, Ti/Zr(Nb), TiN/Zr(Nb)N. The received data are actual appropriated, in particular, for the coatings which are used for the protection of various units of power, compressor, meteorological equipment from droplet impingement erosion.

Keywords: nanocomposite materials, structure and properties of coatings, indentation, sclerometry.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к использованию наноконпозиционных покрытий, которые постепенно выбираются из научных лабораторий и находят промышленное применение. Во многом это связано с освоением и совершенствованием PVD-технологии ионно-плазменного вакуумного осаждения покрытий с магнетронным испарением.

Для исследования были выбраны 2D-наноконпозиционные покрытия следующих металлокерамических систем: Ti/C, Ti/Mo, TiN/MoN, Ti/AlSi, TiN/AlSiN, Ti/Zr(Nb), TiN/Zr(Nb)N. Нанесение покрытий производилось на установке ионно-плазменного напыления с разбалансированной магнетронной системой испарения. Режимы осаждения покрытий подбирались таким образом, чтобы в соответствии с диаграммой Мовчана-Демчишина-Торнтон [1] обеспечивалось получение плотных (бездефектных, безпористых) наноразмерных слоев с нанокристаллической структурой и сжимающими напряжениями в покрытиях.

Строение покрытий исследовалось с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «Mira Tescan 3 LMU», работающего в широком интервале увеличений, включающем нануровень структуры. Микроструктура

некоторых видов исследованных покрытий представлена на рисунке 1. В качестве типичного строения 2D-нанокomпозиционного покрытия может рассматриваться рисунок 1а. Аналогичное строение имели покрытия систем Ti/C, Ti/Zr(Nb), Ti/Mo, TiN/MoN. Их характерной особенностью является наличие плотных бездефектных наноразмерных слоев без признаков зернистости толщиной 12...20 нм, которые четко просматриваются при больших увеличениях. На рисунке 1 в-г показан пример аморфизированной структуры покрытия, появлению которой способствует наличие кремния в системе. При этом слоистость наблюдается только в начальной стадии формирования покрытия (рисунок 1г). Аналогичные результаты получены и для покрытий системы TiN/AlSiN, что также характеризует наличие в них аморфной составляющей.

Таким образом, микроструктуры восьми отобранных вариантов металлических (Ti/Mo, Ti/Zr(Nb), NiCr/Al), металлокерамических (Ti/C, Ti/AlSi) и керамических (TiN/MoN, TiN/Zr(Nb)N, TiN/AlSiN) систем характеризуют полученные покрытия как мультислойные с толщиной слоев, находящихся в нанометрическом диапазоне. При использованных значениях технологических параметров нанесения все системы обеспечивают технологически устойчивое получение 2D-нанокomпозиционных покрытий за исключением систем, содержащих кремний. Покрытия с Si имеют упорядоченное (модулированное) гетерогенное строение (рисунок 1г), одной из фаз которого является аморфная кремнийсодержащая фаза (в виде связующего). Поэтому с морфологической точки зрения их следует отнести к 3D-нанокomпозитам.

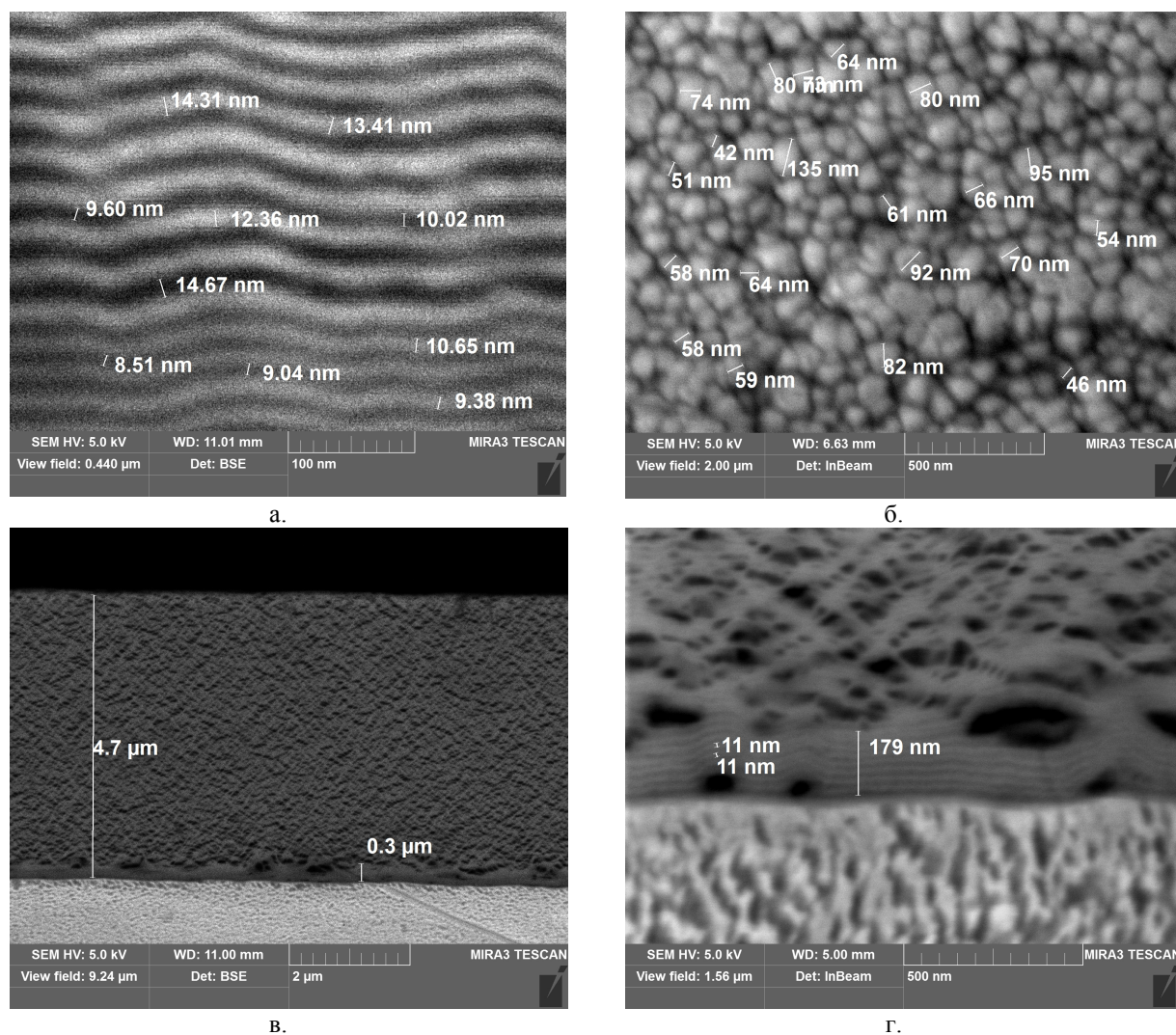


Рис. 1 – Микроструктура (СЭМ-изображения) нанокomпозиционных покрытий: а-б - система TiN/MoN; в-г – система Ti/AlSi; а,в,г – поперечное сечение покрытия; б – изображение поверхности

Физико-механические свойства покрытий исследовались с использованием метода индентирования при различных схемах нагружения образцов: дискретном (микротвердость), непрерывном однокоординатном (нанотвердость) и непрерывном двухкоординатном (царапание с изменяющейся нагрузкой). Для измерения микротвердости по Виккерсу (HV) применялся твердомер «DuraScan 20», использующий метод автоматического (электронно-оптического) измерения отпечатка. Измерение нанотвердости проводили на сканирующем нанотвердоме «NanoScan-3D» в режиме инструментального непрерывного индентирования. Для обеспечения измерений в нанодиапазоне при выборе нагрузки и скорости индентирования руководствовались рекомендациями ГОСТ 8.748-2011.

Для определения адгезии покрытия, устойчивости его к царапанию, коэффициента трения покрытия и основного металла, энергии разрушения и др. характеристик в микро- и нанодиапазонах использовали скретч-тестер с микро- и нано- модулями на базе открытой платформы CSM Instruments – универсального прибора для измерения целого ряда

характеристик методом царапания в режимах как с постоянной нагрузкой царапания, так и с переменной. В наших измерениях использован последний режим нагружения, который обеспечивает проникновение скрэтч-индентора через всю толщину покрытия в основной металл и для поставленных целей исследования дает более широкую картину свойств покрытия.

Обобщенные результаты измерений геометрических параметров покрытия, полученные методами СЭМ-металлографии, и прочностных свойств, полученных методом индентирования, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные металлографии и индентирования образцов с нанокomпозиционными покрытиями

№ п/п	Тип покрытия	Микротвердость (при нагрузке 100 мН)	Глубина отпечатка $h_{0,01}$, мкм	Толщина покрытия h , мкм	Толщина слоев, нм	Непрерывное индентирование		
						Нанотвердость, ГПа (при нагрузке 1 мН)	Глубина отпечатка, нм	Модуль упругости E , ГПа
1	Ti/AlSi	499–655HV _{0,01}	0,76–0,87	4,7–9,3	Аморф.	7,2 (3,44*)–9,2**	50(280*)–173	148(76*)–232
2	Ti/Mo	776HV _{0,01}	0,70	4,32	–	–	–	–
3	TiN/MoN	1974HV _{0,01}	0,44	5,32	8,5-14,6	–	–	–
4	Ti/C	482HV _{0,01}	0,89	2,2–2,9	10,1-12,5	7,1	50	179
5	Ti/Zr(Nb)	480HV _{0,01}	0,89	5,4	10-12	7,36	50	141
6	TiN/Zr(Nb)N	270HV _{0,01}	1,18	1,9-5,3	10,2-15,0	7,48	50	133
		–	–	7,1	25-30	3,95	40	180
7	TiN/AlSiN	948HV _{0,01}	0,64	5,1	Аморф.	8,01	45	166

* - при нагрузке 10 мН; ** - на поперечном микрошлифе

Несмотря на использование минимально возможной для прибора «DuraScan 20» нагрузки (10 г), измеренная микротвердость покрытий некоторых систем имеет значения ниже ожидаемых (см. таблицу 1). Это свидетельствует о влиянии «мягкой» подложки (аустенитная сталь) и характеризует микротвердость как менее надежный метод диагностики такого рода покрытий, чем нанотвердость.

Наиболее информативный массив данных с широким рядом прочностных характеристик получен с помощью CSM скрэтч-тестера. При испытаниях нанокomпозиционных покрытий всех исследованных систем использован режим нагружения с переменной нормальной нагрузкой, линейно возрастающей от 0,03 до 30 Н. Режим обеспечивал проникновение индентора через всю толщину покрытия в основной металл при скорости царапания 5 мм/мин. и скорости увеличения нагрузки 30 Н/мин. Время испытания составило 1 мин., а длина скрэтча – 5 мм.

В процессе нагружения прибор фиксирует графики изменения нагрузки и нормальной силы, коэффициента и силы трения, глубины проникновения индентора (в процессе приложения нагрузки) и остаточной глубины (после снятия нагрузки), а также сигнал с датчика акустической эмиссии (его рефлекс указывает на появление трещин). По микрофотографиям скрэтча (царапины), совмещенного с полученными графиками, определяются моменты появления трещин в покрытии, первого (P_1 , r_1) и полного (P_2 , r_2) его отслаивания.

Результаты выполненных измерений прочностных характеристик исследуемых покрытий с использованием многомодульного CSM скрэтч-тестера представлены в таблице 2.

Таким образом, из исследованных покрытий наиболее высоким комплексом прочностных свойств обладают нитридные системы нанокomпозитов. Положительное влияние на эти свойства оказывает также частичная (послойная) или полная (при наличии подслоя) аморфизация покрытий.

Таблица 2 – Результаты скрэтч-тестирования образцов с нанокomпозиционными покрытиями

№ п/п	Тип покрытия	Критическая прикладываемая нагрузка P_1 , Н	Критическая глубина* r_1 , мкм	Средний коэфф. трения в покрытии f_1	Средний коэфф. трения в подложке f_2	Критическая тангенциальная сила N_1 , Н	Усилие полного скалывания покрытия P_2 , Н	Критическая глубина* r_2 , мкм
1	Ti/AlSi	3.54–6.39	1.65–3.1	0.165–0.226	0.9	0.54–0.7	12.71–17.0	2.30–8.75
2	Ti/Mo	–	–	0.3–0.477	0.85	3.37	6.89	2.30
3	TiN/MoN	8.3	3.13	0.05–0.27	0.35–0.6	2.55	14.3	3.41
4	Ti/C	6.89	5.15	0.3–0.9	1.0	5.86	–	–
5	Ti/Zr(Nb)	6.23	–	0.246	0.9	1.51	13.09	–
6	TiN/Zr(Nb)N	1.36–6.31	1.64–6.53	0.149–0.379	0.8–1.1	0.23–2.39	4.58–9.07	4.44–6.48
7	TiN/AlSiN	8.83	5.48	0.183	0.9	1.62	17.54	11.71

* - определяется по графику остаточной глубины

Качество ионно-плазменных покрытий, определяемое подготовкой поверхности подложки и технологическим режимом нанесения покрытий, существенно сказывается на их свойствах. Наличие в покрытии ростовых дефектов, пористости, напряжений, а также рельефа и несплошностей на поверхности подложки, резко снижает общий уровень прочности покрытия независимо от его состава. Как видно на примере покрытия системы TiN/Zr(Nb)N, все использованные методики индентирования чувствительны к подобным явлениям.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-08-06181). В других наших работах [2-4] представлен более широкий спектр исследований структуры и свойств наноконпозиционных покрытий, в том числе их уникальные антиэрозионные свойства.

Литература

1. Anders A. A structure zone diagram including plasma based deposition and ion etching // Thin Solid Films: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. [Internet-resource with Local Identifier: LBNL Paper LBNL-2768E, 04-01-2010: <http://www.escholarship.org/uc/item/3261x4bm>]
2. Varavka V.N., Kudryakov O.V., Ryzhenkov A.V., Kachalin G.V. and Zilova O.S. Application of Nanocomposite Coatings to Protect Power Equipment from Droplet Impingement Erosion // Thermal Engineering, 2014, Vol. 61, No. 11, pp. 797–803. (DOI: 10.1134/S0040601514110111)
3. Kudryakov O.V. and Varavka V.N. Integrated Indentation Tests of Metal-Ceramic Nanocomposite Coatings // Inorganic Materials, 2015, Vol.51, No.15, pp.1508-1515. (DOI: 10.1134/S0020168515150108)

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.048

Кузнецов А.С.¹, Корнюшко В.Ф.²

¹Аспирант, ²доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Информационных систем в химической технологии, Московский технологический университет

ПРОЦЕССЫ СМЕШЕНИЯ И СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ СИСТЕМ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ В ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Аннотация

В статье с позиций системного анализа рассмотрена возможность объединения процессов смешения и структурирования в единую химико-технологическую систему получения изделий из эластомеров.

Ключевые слова: смешение, структурирование, система, системный анализ, управление, контроль, химико-технологическая система.

Kuznetsov A.S.¹, Kornushko V.F.²

¹Postgraduate student, ²PhD in Engineering, Professor,

Head of the department of Informational systems in chemical technology, Moscow State University

MIXING AND STRUCTURING PROCESSES AS CONTROL OBJECTS IN CHEMICAL-ENGINEERING SYSTEM

Abstract

The article describes the possibility of combining on the basis of system analysis the mixing and vulcanization processes in the unified chemical-engineering system of elastomer's products obtaining.

Keywords: mixing, structuring, system, system analysis, direction, control, chemical-engineering system.

Введение

Развитие химической промышленности невозможно без создания новых технологий, увеличения выпуска продукции, внедрения новой техники, экономного расходования сырья и всех видов энергии, создания малоотходных производств.[1,2]

Промышленные процессы протекают в сложных химико-технологических системах (ХТС), которые представляют собой совокупность аппаратов и машин, объединенных в единый производственный комплекс для выпуска продукции.

Современное производство изделий из эластомеров (получение эластомерного композиционного материала (ЭКМ), или резины) характеризуется наличием большого количества стадий и технологических операций, а именно: подготовка каучука и ингредиентов, развеска твердых и сыпучих материалов, смешение каучука с ингредиентами, формование сырой резиновой смеси – полуфабриката, и, собственно, сам процесс пространственного структурирования (вулканизации) резиновой смеси – заготовки для получения готового изделия с комплексом заданных свойств.[3,4]

Все процессы производства изделий из эластомеров тесно связаны между собой, поэтому точное соблюдение всех установленных технологических параметров необходимо для получения продукции надлежащего качества. Получению кондиционной продукции способствует использование различных методов контроля основных технологических величин на производстве в центральных заводских лабораториях (ЦЗЛ).[3]

Сложность и многостадийность процесса получения изделий из эластомеров и необходимость контроля основных технологических показателей подразумевают к рассмотрению процесса получения изделий из эластомеров в качестве сложной химико-технологической системы, включающей в себя все технологические стадии и операции, элементы анализа основных стадий процесса, их управления и контроля.[2]

1. Общая характеристика процессов смешения и структурирования

Получению готовой продукции (изделия с комплексом заданных свойств) предшествуют два основных технологических процесса системы производства изделий из эластомеров, а именно: процесс смешения и, собственно, вулканизация сырой резиновой смеси. Контроль за соблюдением технологических параметров этих процессов

является обязательной процедурой, обеспечивающей получение продукции надлежащего качества, интенсификацию производства, и предотвращение образования брака.[3,4]

На начальном этапе имеются каучук – полимерная основа, и различные ингредиенты. После развески каучука и ингредиентов приступают к процессу смешения. Процесс смешения представляет собой размалывание ингредиентов, и сводится к более равномерному распределению их в каучуке и лучшему диспергированию.

Процесс смешения проводят на вальцах или в резиносмесителе. В результате мы получаем полуфабрикат – сырую резиновую смесь – промежуточный продукт, которую в дальнейшем подвергают вулканизации (структурированию). На этапе сырой резиновой смеси контролируется равномерность смешения, проверяется состав смеси, оценивают ее вулканизационную способность. [3]

Равномерность смешения проверяется по показателю пластичности резиновой смеси. Из разных участков резиновой смеси отбираются пробы, и определяется показатель пластичности смеси, для разных образцов он должен быть примерно одинаков. Пластичность смеси Р должна в пределах погрешности совпадать с указанной в паспорте рецептуры для конкретной резиновой смеси. [3,4]

Вулканизационная способность смеси проверяется на виброреометрах различной конфигурации. Реометр в данном случае представляет собой объект физического моделирования процесса структурирования эластомерных систем.

В результате вулканизации получают готовое изделие (резина, эластомерный композиционный материал. Таким образом, резина представляет собой сложную многокомпонентную систему (рис. 1.)

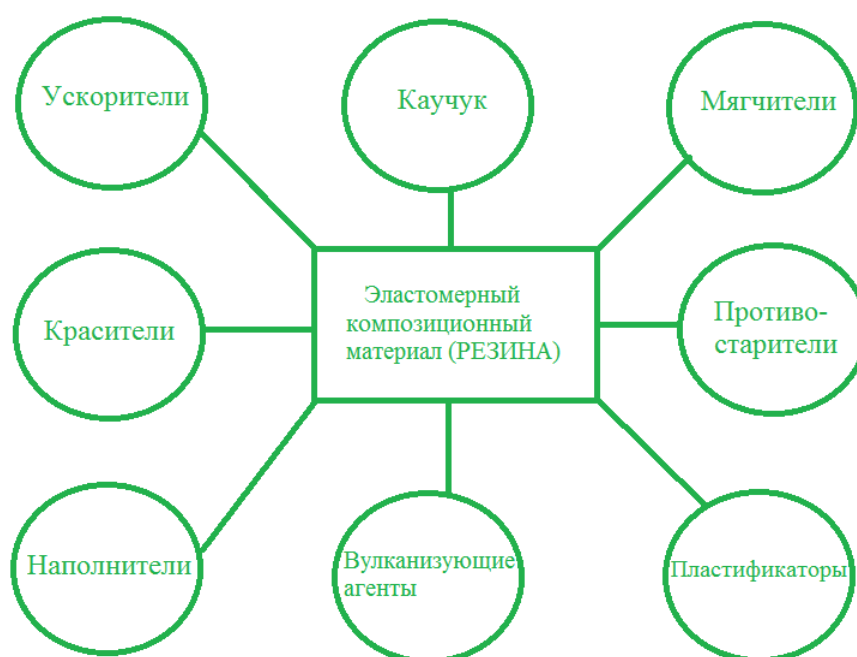


Рис. 1 – Состав эластомерного материала

Процесс структурирования представляет собой химический процесс превращения сырой пластичной резиновой смеси в эластичную резину за счет образования пространственной сетки химических связей, а также технологический процесс получения изделия, резины, эластомерного композиционного материала путем закрепления требуемой формы для обеспечения требуемой функции изделия.

2. Построение модели химико-технологической системы производства изделий из эластомеров

Любое химическое производство представляет собой последовательность трех основных операций: подготовка сырья, собственно химическое превращение, выделение целевых продуктов. Эта последовательность операций воплощается в единую сложную химико-технологическую систему (ХТС). Современное химическое предприятие состоит из большого числа взаимосвязанных подсистем, между которыми существуют отношения соподчиненности в виде иерархической структуры с тремя основными ступенями (рис. 2). Производство эластомеров не является исключением, причем на выходе получается готовое изделие с заданными свойствами.

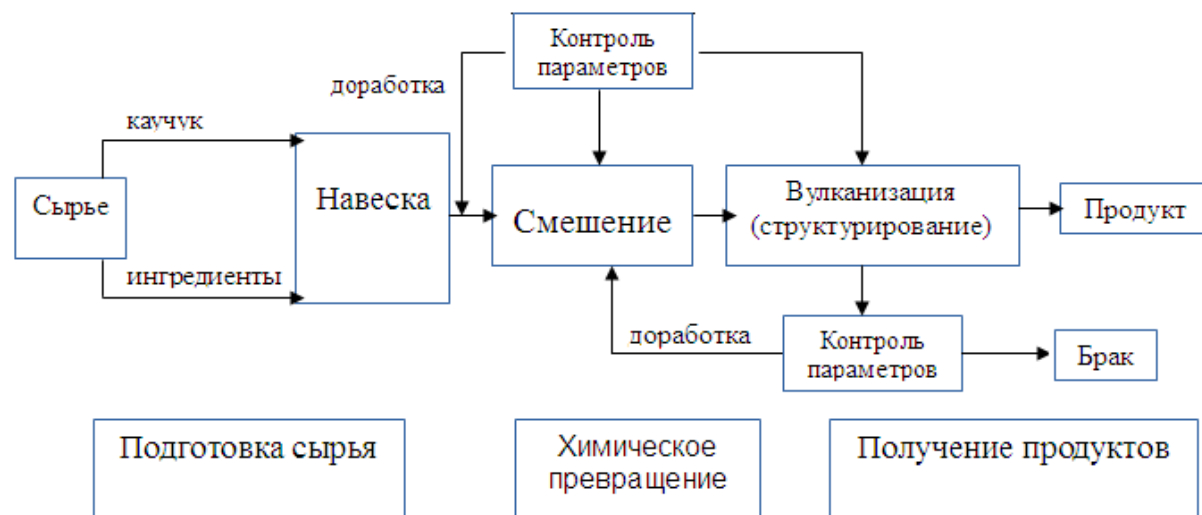


Рис. 2 – Подсистемы химико-технологической системы производства изделий из эластомеров

Основой построения подобной системы, как, впрочем, и любой химико-технологической системы производственных процессов, является системный подход.[1,2,7] Системная точка зрения на отдельный типовой процесс химической технологии позволяет развить научно обоснованную стратегию комплексного анализа процесса и на этой основе построения развернутой программы синтеза его математического описания для реализации в дальнейшем программ управления.[1,2,3,7]

Данная схема представляет собой пример химико-технологической системы с последовательным соединением элементов. Согласно принятой классификации, самым малым уровнем является типовой процесс.[2]

В случае производства эластомеров в качестве таких процессов рассматривают отдельные стадии производства: процесс навески ингредиентов, нарезки каучука, смешение на вальцах или в резиносмесителе, пространственное структурирование в аппарате вулканизации.

Следующий уровень представлен цехом. Для производства эластомеров может быть представлен как состоящий из подсистем подачи и подготовки исходного сырья, блока проведения смешения и получения полуфабриката, а также завершающего блока структурирования и выявления брака. [3,4,5]

Главные производственные задачи по обеспечению требуемого уровня качества конечной продукции, интенсификации технологических процессов, анализа и контролирования процессов смешения и структурирования, предотвращение образования брака, проводятся именно на этом уровне.

3. Выбор основных параметров для контроля и управления технологическими процессами смешения и структурирования

Процесс структурирования представляет собой химический процесс превращения сырой пластичной резиновой смеси в эластичную резину за счет образования пространственной сетки химических связей, а также технологический процесс получения изделия, резины, эластомерного композиционного материала путем закрепления требуемой формы для обеспечения требуемой функции изделия. [2,3,4,5]

В процессах производства изделий из эластомеров управляемыми параметрами являются: температура T_c при смешении и вулканизации T_b , давление P при прессовании, время τ обработки смеси на вальцах, а также время вулканизации (оптимум) τ_{opt} .

Температура полуфабриката на вальцах измеряется игольчатой термопарой или термопарой с самопишущими приборами. Имеются также датчики температуры.[4] Ее обычно контролируют, изменяя расход охлаждающей воды для вальцев при помощи регулировки вентиля. На производстве применение находят регуляторы расхода охлаждающей воды.

Давление контролируется при применении масляного насоса с установленными датчиком давления и соответствующим регулятором.

Установление параметров изготовления смеси производится вальцовщиком по контрольным картам, где содержатся необходимые значения параметров процесса.

Контроль качества полуфабриката (сырой смеси) проводится специалистами центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) завода-изготовителя по паспорту смеси. При этом основным элементом контроля качества смешения и оценки вулканизационной способности резиновой смеси являются данные виброреометрии, а также анализ реометрической кривой, которая представляет собой графическое изображение процесса, и рассматривается как элемент управления и корректировки процесса структурирования эластомерных систем [4,5,6]

Процедура оценки вулканизационных характеристик проводится технологом по паспорту смеси и базам данных реометрических испытаний каучуков и резин.

Контроль получения кондиционного изделия – завершающая стадия – проводится специалистами отдела технического контроля качества готовой продукции по данным испытаний технических свойств изделия.

При контроле качества резиновой смеси одного определенного состава существует некоторый определенный интервал значений показателей свойств, при соблюдении которых получают изделия с требуемыми свойствами.

Выводы:

1. Применение системного подхода при анализе процессов производства изделий из эластомеров позволяет наиболее полно отследить параметры, отвечающие за качество протекания процесса структурирования.
2. Основные задачи по обеспечению требуемых показателей технологических процессов ставятся и решаются на уровне цеха.

Литература

1. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: ТЗЗ Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2006. - 848 с: ил. ISBN 5-279-02933-5
2. Холоднов В.А., Хартманн К.,Чепикова В.Н., Андреева В.П.. Системный анализ и принятие решений. Компьютерные технологии моделирования химико-технологических систем с материальными и тепловыми рециклами. [Текст]: учебное пособие./ В.А. Холоднов, К. Хартманн. СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2006.-160 с.
3. Агаянц И.М., Кузнецов А.С., Овсянников Н.Я. Модификация осей координат при количественной интерпретации реометрических кривых – М.: Тонкие химические технологии 2015 г. Т.10 № 2, с64-70.
4. Новаков И.А., Вольфсон С.И., Новопольцева О.М., Кракшин М.А. Реологические и вулканизационные свойства эластомерных композиций. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008. – 332 с.
5. Кузнецов А.С., Корнюшко В.Ф., Агаянц И.М. \Реограмма как инструмент управления технологическим процессом структурирования эластомерных систем \ М.: НХТ-2015 с.143.
6. Кашкина Ю.В. Количественная интерпретация кинетических кривых процесса вулканизации в системе организации рабочего места технолога - резинщика: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2005. – 24 с.
7. Чернышов В.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та., 2008. – 96 с.

References

1. Teoriya sistem i sistemnyj analiz v upravlenii organizacijami: TZZ Spravochnik: Ucheb. posobie / Pod red. V.N. Volkovoj i A.A. Emel'yanova. - M.: Finansy i statistika, 2006. - 848 s: il. ISBN 5-279-02933-5
2. Holodnov V.A., Hartmann K.,CHepikova V.N., Andreeva V.P.. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij. Komp'yuternye tekhnologii modelirovaniya himiko-tekhnologicheskikh sistem s material'nymi i teplovymi reciklami. [Tekst]: uchebnoe posobie./ V.A. Holodnov, K. Hartmann. SPb.: SPbGTI (TU), 2006.-160 s.
3. Agayanc I.M., Kuznecov A.S., Ovsyannikov N.YA. Modifikaciya osey koordinat pri kolichestvennoj interpretacii reometricheskikh krivyh – M.: Tonkie himicheskie tekhnologii 2015 g. T.10 № 2, s64-70.
4. Novakov I.A., Vol'fson S.I., Novopol'ceva O.M., Krakshin M.A. Reologicheskie i vulkanizacionnye svoystva ehlastomernyh kompozicij. – M.: IKC «Akademkniga», 2008. – 332 s.
5. Kuznecov A.S., Kornyushko V.F., Agayanc I.M. \Reogramma kak instrument upravleniya tekhnologicheskim processom strukturirovaniya ehlastomernyh sistem \ M.: NHT-2015 s.143.
6. Kashkinova YU.V. Kolichestvennaya interpretaciya kineticheskikh krivyh processa vulkanizacii v sisteme organizacii rabocheho mesta tekhnologa - rezinshchika: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Moskva, 2005. – 24 s.
7. CHernyshov V.N. Teoriya sistem i sistemnyj analiz: ucheb. posobie / V.N. CHernyshov, A.V. CHernyshov. – Tambov : Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta., 2008. – 96 s.



Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент ScienceIndex.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.218

Левина Ю.С.¹, Усачев С.М.², Усачев А.М.³¹Студент, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет²кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет³кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет**ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ И ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ДОБАВОК****Аннотация**

Проанализированы современные достижения в области создания строительных материалов, в состав которых входят микрокапсулы с фазовым переходом, позволяющие аккумулировать тепловую энергию за счет поглощения и отдачи теплоты. Представлены процессы и способы аккумуляции тепловой энергии, применяемые в современном строительстве, рассмотрены основные типы аккумуляторов с фазовым переходом в зависимости от вида теплоносителя, изучены свойства компонентов теплоаккумулирующих материалов. Проведен анализ достоинств и недостатков микрокапсул по сравнению с более распространенными теплоизоляционными строительными материалами.

Ключевые слова: аккумуляция теплоты, теплоаккумулирующий материал, аккумуляторы теплоты на фазовых переходах, микрокапсулы, сохранение теплоты.

Levina J.S.¹, Usachev S.M.², Usachev A.M.³¹Student, Voronezh State University of Architecture and Construction²PhD in Engineering, associate professor, Voronezh State University of Architecture and Construction³PhD in Engineering, associate professor, Voronezh State University of Architecture and Construction**GETTING ENERGY-SAVING BUILDING MATERIALS BASED ON TRADITIONAL RAW MATERIALS
AND HEAT-RETAINING ADDITIVES****Abstract**

Modern achievements in the field of creation of new construction materials in which structure the substance with the phase transition is included, allowing to accumulate thermal energy at the expense of absorption and return of heat. Processes and ways of accumulation of the thermal energy, applied in modern construction are analysed, the main types of accumulators with phase transition depending on the heat carrier are considered, properties of components of a heat-retaining material are studied. The analysis of the strengths and weaknesses of the microcapsules compared to the more common insulation building materials.

Keywords: accumulation of heat, the head storage material, warmth accumulators on phase transition, microcapsules, preservation of warmth.

Проблема сбережения теплоты, рационального использования энергетических и тепловых ресурсов занимает особое место в строительных технологиях. С позиции строительного материаловедения, исследователи стремятся создать материал, имеющий низкую среднюю плотность и пониженную теплопроводность. На основании этого создано большое количество теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов, которые снижают теплопотери через ограждающие конструкции зданий и сооружений, а также изолируют промышленное оборудование и тепловые сети.

На современном строительном рынке существуют различные теплоизоляционные материалы, различающиеся: по виду основного сырья (неорганические и органические), структуре (волокнистые, зернистые, ячеистые), форме (рыхлые, штучные, фасонные, шнуровые) и другим признакам. На практике наиболее часто применяют следующие виды теплоизоляционных материалов: минеральную вату, стекловату, пеностекло, ячеистые бетоны (пенобетон, газосиликат), бетоны на основе легких заполнителей, древесностружечные и древесноволокнистые плиты, пенополиуретан, пенополистирол и другие. Вместе с тем, не смотря на все многообразие теплоизоляционных материалов, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

В данной статье мы хотим рассмотреть материал, способный накапливать (аккумулировать) тепловую энергию, а затем отдавать ее в окружающую среду. Возможность аккумуляции тепловой энергии основана на использовании физического или химического процесса, связанного с поглощением и выделением теплоты. К основным из них относятся накопление-выделение внутренней энергии при нагревании-охлаждении твердых или жидких тел, фазовые переходы с поглощением-выделением скрытой теплоты, процесс сорбции-десорбции или обратимая химическая реакция, протекающая с выделением-поглощением теплоты [2]. Отмеченные процессы реализуются в специальных устройствах – аккумуляторах теплоты (АТ) [3]. Вещества, используемые для накопления тепловой энергии, называются теплоаккумулирующими материалами (ТАМ).

В качестве материала с фазовым переходом чаще всего применяются гидраты солей и органические материалы, в том числе парафины. Ключевым свойством, определяющим эффективность использования ТАМ, является величина изменения энтальпии в интервале температуры использования. В настоящее время наиболее пригодными для аккумуляции теплоты считают парафины, представляющие собой смесь алифатических углеводородов ряда C_nH_{2n+2} , также называемые предельными углеводородами. Парафины обладают большой теплотой фазового перехода и низким коэффициентом вязкости, у них отсутствует эффект переохлаждения. Парафин в жидком состоянии – это неполярная жидкость и поэтому не смешивается с полярными, такими, как вода и спирт. Это важно при использовании их в качестве теплоносителей в прямом контакте с ТАМ. Парафины имеют низкую электропроводность, из-за которой их относят к хорошим электроизоляторам. Плотность термических парафинов в жидком состоянии колеблется от 750 до 850 кг/м³.

Основные физические свойства парафинов различного типа представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физические свойства парафинов

Типы парафинов	Температура фазового перехода (замерзания) Т _ф , °С	Удельная теплота фазового перехода Q _{ф.уд} , кДж/кг
6106	42-44	189
P116	45-48	210
5838	48-50	189
6035	58-60	189
6403	62-64	189
6499	66-68	189

У них отсутствует эффект переохлаждения. Таким образом, рассматривается теплоаккумулирующий материал, состоящий из полимерного связующего и теплоаккумулирующего вещества, представляющего собой синтезированные микрокапсулы, ядерным материалом которых является парафин, оболочкой – кремнийорганическое соединение [1].

Микрокапсулы ТАМ предназначены для накопления и аккумуляции тепловой энергии за счет фазового перехода (ФП) в области температур 10-50 °С. При этом используется энергетический эффект обратимого фазового преобразования, который позволяет при температуре выше плюс 25-30 °С осуществлять накопление тепла, а при температуре ниже плюс 20 °С – производить отдачу тепла, что способствует созданию эффективных теплосберегающих помещений.

Микрокапсулы ТАМ, как материалы с фазовым переходом, хорошо совместимы с минеральными, силикатными и полимерными вяжущими веществами и предназначены для изготовления различных строительных материалов.

Микрокапсулы ТАМ могут использоваться:

-для существующих строительных объектов в виде внутреннего или внешнего нанесения на элементы стен, потолков, полов;

-для добавления в бетонные смеси, строительные растворы, сухие строительные смеси, лакокрасочные материалы, строительные изделия (стенной кирпич или камни, панели, пенобетонные блоки, плиты перекрытия и др.);

-в виде теплоаккумулирующей засыпки пустот для пустотелых и многослойных изделий (пустотелый кирпич и камни, многослойные плиты и др.) [1].

Применение микрокапсул с теплоаккумулирующим эффектом в различных строительных материалах или объектах имеет следующие преимущества. Теплоаккумулирующий материал в условиях высокой температуры, например, в течение дня, при солнечном облучении, принимает тепло и отдает его в окружающую среду ночью. В этом случае температурные колебания будут уравниваться, что приведет к улучшенному климату жилого помещения.

Конструктивные требования к ТАМ не предъявляются. Важными являются его технические параметры, основные из которых следующие: точка плавления в области температур плюс 20-50 °С; высокая теплота плавления на единицу массы и согласованные характеристики плавления адсорбтива и адсорбента; химическая устойчивость; высокая коррозионная устойчивость; низкая токсичность; малое переохлаждение и устойчивость к перегреву; небольшие изменения объема при фазовом переходе; высокая теплопроводность и теплоемкость.

Такие микрокапсулы ничуть не уступают по своим свойствам передовым теплоизоляционным материалам. Проведем сравнительный анализ нескольких показателей микрокапсул ТАМ и некоторых эффективных теплоизоляционных материалов (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнительные показатели качества применяемых (традиционных) теплоизоляционных материалов и микрокапсул ТАМ

Наименование показателя	Пенополистирол	Минеральная вата	Микрокапсулы ТАМ
Теплопроводность Вт/(м *°С)	0,037-0,042	0,048-0,07	не более 0,3
Пожаростойкость	Очень хорошо горит, выделяя вредные вещества	Пожаро-безопасность	Трудносгораемый, низкая дымообразующая способность
Паропроницаемость мг /Па*м*ч	0,05	0,49-0,6	0,1-0,6
Экологичность (токсичность)	-	+	++
Долговечность	долговечный	долговечный	долговечный

Из приведенных показателей видно, что микрокапсулы практически ничем не уступают теплоизоляционным материалам. Кроме того у традиционных теплоизоляционных материалов есть свои недостатки. Минеральная вата неспособна держать форму, даже плитный материал монтируют только на обрешетку; склонна к проседанию и слеживанию. Не рекомендуется использовать минеральную вату для утепления вертикальных конструкций; высокая трудоемкость при монтаже.

Пенополистирольные плиты достаточно хрупкий материал, нередко ломаются, крошатся. Пенополистирол подвержен биокоррозии и воздействию мышей и других грызунов. При утеплении пенопластом, придется позаботиться об улучшении вентиляции, иначе может появиться конденсат на стенах, так как этот материал обладает низкой паропроницаемостью.

В итоге хотелось бы сказать, что рассмотренный в статье теплоаккумулирующий материал может составить конкуренцию существующим теплоизоляционным материалам, но требует дополнительного изучения. Прежде всего, это оценки теплофизических свойств при работе в реальных конструкциях, точное определение количества накопленной и отдаваемой тепловой энергии, а также циклов нагревания и охлаждения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и правительства Воронежской области в рамках научного проекта № 16-43-360174 p_a.

Литература

1. Ю.С. Альбинская, С.М. Усачев, Ф. Ресснер, О.Б. Рудаков Направление создания микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом / Научный вестник. Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. Выпуск № 2 (7), 2013 г. – 21-27 с.
2. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло - и массообмена. – М.Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 521 с.
3. Физические величины. Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

References

1. Nauchnyj vestnik. Voronezhskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Serija: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedenija. Vypusk №2(7), 2013g. Ju.S. Al'binskaja, S.M. Usachev, F. Ressenner, O.B. Rudakov / Napravlenie sozdanija mikrokapsulirovannyh teploakkumulirujushhih materialov s fazovym perehodom, 2013 – 21-27 s.
2. Jekkert Je.R., Drejk R.M. Teorija teplo - i massooobmena. – M.L.: Gosjenergoizdat, 1961. – 521 s.
3. Fizicheskie velichiny. Spravochnik / Pod red. I.S. Grigor'eva, E.Z. Mihajlova. – M.: Jenergoatomizdat, 1991. – 1232 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.232

Мефедова Ю.А.

ORCID: 0000-0001-8917-9200, кандидат технических наук, доцент, Балаковский инженерно-технологический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЦИФРОВОГО БИХ-ФИЛЬТРА

Аннотация

В статье рассмотрена разработка Simulink-модели с использованием стандартной библиотеки для расчета коэффициентов цифрового полосового фильтра с бесконечной импульсной характеристикой методом билинейного преобразования, позволяющая автоматизировать данную процедуру без применения дополнительных специализированных библиотек. Результаты работы могут быть использованы при изучении цифровой фильтрации в рамках теории цифровой обработки сигналов студентами технических специальностей высших учебных заведений.

Ключевые слова: моделирование, цифровой фильтр, билинейное преобразование.

Mefedova J.A.

ORCID: 0000-0001-8917-9200, PhD in Engineering, Associate professor,

Balakovo engineering and technological Institute, National research nuclear University "MEPHI"

DEVELOPMENT OF A MODEL TO CALCULATE THE COEFFICIENTS OF DIGITAL IIR FILTER

Abstract

The article describes the development of Simulink models using the standard library to calculate the coefficients of the digital bandpass filter with an infinite impulse response method, bilinear transform, which allows to automate this procedure without using additional specialized libraries. The results can be used in the study of digital filtering in the framework of the theory of digital signal processing the students of technical specialties of higher educational institutions.

Keywords: modeling, digital filter, bilinear transformation.

Цифровые фильтры широко используются в различных областях как для разделения двух и более распространяющихся совместно сигналов, так и для восстановления сигналов, которые были каким-то образом искажены. При этом цифровые фильтры показывают более высокую точность по сравнению с аналоговыми.

При проектировании фильтров на начальном этапе возникает необходимость расчета его коэффициентов, на основании которых записывается разностное уравнение или передаточная функция, а в дальнейшем рассматриваются вопросы технической реализации. Выбор метода расчета коэффициентов фильтра зависит от его класса. Для фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ), выходные отсчеты которых рассчитываются с учетом как входных (текущих и предшествующих), так и выходных цифровых сигналов, используются следующие методы [1]:

1. Метод размещения нулей и полюсов. Используется для синтеза несложных фильтров. Например, для полосно-заграждающих фильтров, у которых ряд параметров, например, неравномерность в полосе пропускания можно задавать приблизительно.

2. Методы, использующие в своем алгоритме синтез аналоговых фильтров и последующее преобразование в эквивалентные цифровые:

- а) метод инвариантного преобразования импульсной характеристики;
- б) согласованное z – преобразование;
- в) билинейное z – преобразование.

Данная группа методов получила широкое применение. При этом сначала разрабатывается фильтр в аналоговом исполнении с требуемыми желаемыми характеристиками, а затем он преобразуется одним из трех способов в эквивалентный цифровой. Метод (а) после преобразования в цифровой вид повторяет импульсную характеристику

спроектированного на начальном этапе аналогового фильтра, но не сохраняет амплитудно-частотную характеристику. Метод (в) сохраняет амплитудно-частотную характеристику, но временные характеристики искажаются. Для частотно-избирательных фильтров самым распространённым является метод, использующий билинейное преобразование, алгоритм которого изложен ниже.

1) На первом этапе проектируется аналоговый фильтр-прототип низких частот. На основании исходных данных строится идеализированная частотная характеристика, которая аппроксимируется с помощью ряда аппроксимирующих функций. В качестве последних могут выступать полиномы и дроби. Полиномиальными функциями являются функции Тейлора (фильтры Баттерворта), Чебышева I типа, а дробными – Кауэра–Золотарева (эллиптические фильтры), Чебышева II типа (инверсная).

Передаточные функции фильтров, построенных на основе полиномов имеют следующие особенности: отсутствуют конечные нули, частотные характеристики не имеют пульсации в полосе задерживания. Передаточные функции фильтров, построенные на основе дробей, в отличие от первых имеют нули на граничных частотах в полосе задерживания, а частотные характеристики – не монотонны в этой полосе. Все фильтры, кроме Баттерворта, в полосе пропускания имеют пульсации. При сравнительном анализе фильтров с различными аппроксимирующими функциями, но с одинаковым порядком, выяснено, что фильтры на основании дают более оптимальные характеристики в полосе затухания.

2) Деформирование граничных или критичных частот. Билинейное преобразование искажает характеристики, поэтому предварительно деформируются все граничные или критичные частоты по формуле:

$$\omega' = \frac{2}{T} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\omega \cdot T}{2} \right),$$

где T – период дискретизации.

3) На третьем этапе с помощью частотных преобразований переходят от аналогового фильтра-прототипа низких частот к аналоговому фильтру, с требуемыми частотными свойствами (низкочастотному, высокочастотному, полосовому пропускающему или заграждающему).

4) На последнем этапе к аналоговому фильтру применяется билинейное преобразование с целью получения цифрового. Для этого в передаточной функции аналогового фильтра-прототипа $H(s)$ необходимо сделать подстановку:

$$s = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}.$$

Для реализации данного метода могут быть использованы различные математические редакторы. В данной работе предлагается автоматизировать процедуру расчета коэффициентов полосового БИХ-фильтра с аппроксимацией по Чебышеву I типа путем использования разработанной Simulink-модели. Simulink – это встроенное приложение Matlab, позволяющее в интерактивном режиме осуществлять имитационное моделирование. Модели строятся при помощи готовых блоков из различных библиотек.

На основании блоков стандартной библиотеки, таких как Sum (Сумматор), Product (Произведение), Divide (Деление), Const (Константа), Trigonometric Function (Тригонометрические функции), Math Function (Математические функции), Display (Дисплей), а также механизма создания подсистем, позволяющего оформить фрагмент Simulink-модели в виде отдельного блока, разработана модель, общий вид которой представлен на рис.1.

В качестве исходных данных принимаются: A_p – неравномерность в полосе пропускания в дБ, N – порядок фильтра, F_d – частота дискретизации в Гц, dF – ширина полосы пропускания в Гц, f_x – центральная частота полосы пропускания в Гц. В выходных блоках после симуляции отображаются коэффициенты передаточной функции фильтра ($B_1=B_3=0$):

$$H(z) = \frac{B_0 + B_1 \cdot z^{-1} + B_2 \cdot z^{-2} + B_3 \cdot z^{-3} + B_4 \cdot z^{-4}}{1 + A_1 \cdot z^{-1} + A_2 \cdot z^{-2} + A_3 \cdot z^{-3} + A_4 \cdot z^{-4}}.$$

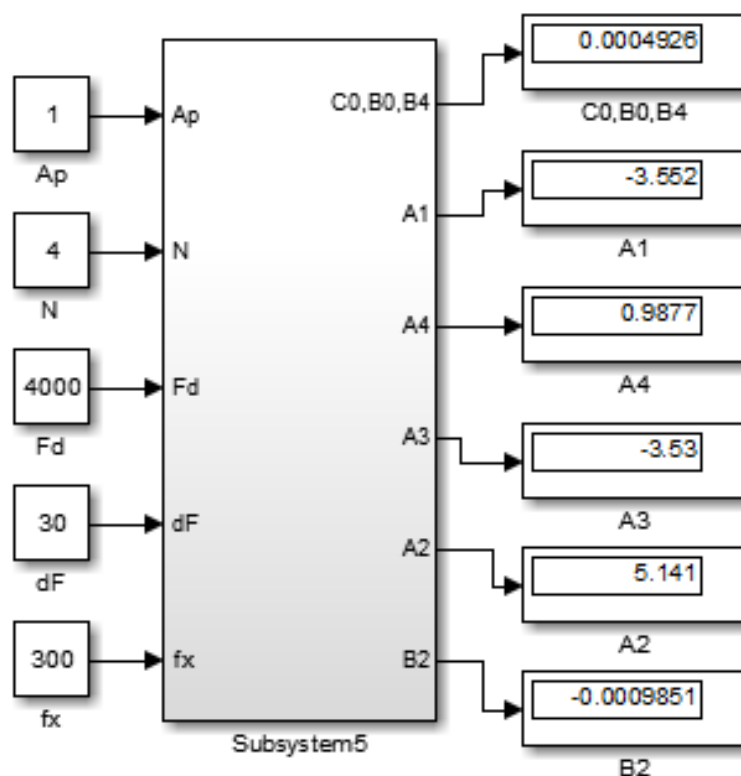


Рис.1 – Общий вид подсистемы

Использование подсистем при разработке модели позволило создать упрощенный интерфейс, в который входят только входные и выходные параметры, необходимые для расчета коэффициентов цифрового фильтра. При этом громоздкие вычисления скрыты от пользователя внутри основной подсистемы, что облегчает восприятие модели.

В разработанной модели внутри основной подсистемы вложены еще четыре подсистемы, каждая из которых отвечает за расчет отдельных параметров, обусловленных алгоритмом метода билинейного преобразования. После расчета коэффициентов строится амплитудно-частотная характеристика, проверяется ее соответствие исходным требованиям и разрабатывается функциональная схема фильтра в прямой, параллельной или каскадной формах. На завершающих этапах проектирования цифровых фильтров выполняется его реализация с помощью программного и/или аппаратного способа.

Реализовать процедуру расчета коэффициентов цифрового фильтра можно также с помощью блока Digital Filter Design, который находится в дополнительной библиотеке DSP Blockset. При проектировании цифровых фильтров с помощью Digital Filter Design открываются более широкие возможности, а именно:

- проектируются фильтры обоих классов (с бесконечной IIR и конечной FIR импульсной характеристикой);
- выбор в каждом классе типа фильтра (Lowpass – ФНЧ, Highpass – ФВЧ, Bandpass – полосовой, Bandstop – режекторный);
- выбор вида аппроксимации (например, для БИХ-фильтров: Butterworth – фильтр Баттерворта, Chebyshev Type I, II – Чебышева I и II рода, Elliptic – фильтр эллиптический (Золотарева-Кауэра);
- кроме коэффициентов фильтра можно визуально наблюдать амплитудно-частотную, фазовую, импульсную и переходную характеристики, картину нулей и полюсов фильтра на комплексной z-плоскости.

Но несмотря на преимущество, имеется существенный недостаток – высокая стоимость данного дополнительного компонента Matlab. Поэтому при его отсутствии разработанная модель может быть достаточно эффективно использована при расчете коэффициентов цифровых полосовых БИХ-фильтров. Также использованный подход может быть применен и для других типов частотно-избирательных фильтров.

Литература

1. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов и Matlab / А.И. Солонина, Д.М. Клионский и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013.

References

1. Solonina A. I. Digital signal processing and Matlab / I. A. Solonina, D. M. Klionsky and others – SPb.: BHV-Petersburg, 2013.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.240

Михайлов А.В.¹, Таранов А.Г.²¹ORCID: 0000-0002-0516-7737, Доктор технических наук; ²ORCID: 0000-0002-6275-4874, Аспирант,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

ПАРАМЕТРЫ ГРЕЙФЕРА ГИДРОМАНИПУЛЯТОРА ПРИ ВЫЕМКЕ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ**Аннотация**

Проведен анализ устойчивости транспортно-тракторного агрегата для селективной выемки и погрузки в полуприцеп торфяного сырья, при помощи гидроманипулятора и вильчатого грейфера. С учетом коэффициента запаса устойчивости не менее 8 при эксплуатации транспортно-тракторного агрегата на слабонесущей торфяной залежи определен предельный объем вильчатого грейфера 0,13 м³ при вылете стрелы гидроманипулятора 3,3 м. Проведенные исследования могут быть использованы для проектирования вильчатого грейфера.

Ключевые слова: торфяное сырье, гидроманипулятор, грейфер.

Mikhailov A.V.¹, Taranov A.G.²¹ORCID: 0000-0002-0516-7737, Doctor of Technical Sciences; ²ORCID: 0000-0002-6275-4874, Postgraduate Student,

National mineral resources university (Mining)

HYDRAULIC MANIPULATOR GRAB PARAMETERS AT EXCAVATION OF PEAT**Abstract**

The analysis of the transport and tractor unit stability for selective excavation and loading of peat is carried out. The transport and tractor unit is equipped with the hydraulic manipulator and the bifurcate grab. The stability coefficient of the peat machine at operation on a peat deposit makes not less than 8. At a boom outreach of the hydraulic manipulator of 3.3 m the maximum volume of the grab made 0.13 m³. The studies can be used to design the grapple fork.

Keywords: peat, hydraulic manipulator, grab.

Технологический процесс селективной добычи малоразложившегося торфяного сырья предусматривает выемку верхнего слоя торфяной залежи на глубину до 0,5 м [2]. Вильчатый двухчлустной грейфер при помощи гидроманипулятора внедряется в торфяную залежь на глубину h . При закрытии грейфера материал перемещается по направлению к середине грейфера и деформируется под действием горизонтальных сжимающих сил. Затем происходит подъем грейфера с отрывом материала от торфяной залежи и погрузка в тракторный полуприцеп для транспортирования.

Выполняя основные технологические операции по выемке и погрузке торфяного сырья в зоне действия манипулятора, транспортно-тракторный агрегат находится на «технологической стоянке» на торфяной залежи с низкой несущей способностью [2].

Транспортно-тракторный агрегат (ТТА) состоит из трактора Беларус-622 эксплуатационной массой 3000 кг, выполненного по колесной схеме 4x4 со сдвоенными колесами и двухосного колесного полуприцепа Country T30 эксплуатационной массой 1200 кг со сдвоенными колесами на широкопрофильных шинах 400/60-15,5 [2]. Шарнирно-сочлененный гидроманипулятор Country 470 массой 350 кг устанавливается на поворотной колонне в передней части полуприцепа. Все управление манипулятором осуществляется из кабины трактора при помощи пульта управления. Грузоподъемность гидроманипулятора при длине вылета стрелы 3,5 м достигает 550 кг. На полуприцепе T30 установлен накладной самосвальный цельнометаллический кузов, предназначенный для транспортировки и разгрузки влажных грузов. Для лучшего отвода воды из экскавированного торфяного сырья в кузове полуприцепа предусмотрена перфорация днища и части боковых стенок.

Назначение параметров конструкции манипуляторной выемочной машины и сменных рабочих органов производится на базе расчета устойчивости. Расчет устойчивости производится исходя из условия, что выемочная машина должна реализовывать максимальные усилия на грейфере при работе поперек колес.

Опасность потери устойчивости выемочной машины возникает в случае, если суммарный опрокидывающий момент $M_{оп}$ от действия внешних сил будет превышать суммарный удерживающий момент $M_{уд}$. Во избежание опрокидывания должны быть созданы условия устойчивого равновесия, при которых удерживающие моменты относительно линии опрокидывания были бы больше, чем опрокидывающие.

Расположение опорных контуров колесных машин зависит от их конструкции, а при шарнирном соединении тягового и прицепного модулей от их взаимного расположения относительно продольной и поперечной осей системы.

Существует несколько методик определения условий устойчивости манипуляторных машин. Эти методики основаны на различных критериях оценки устойчивого состояния: по предельному углу опрокидывания, по положению равнодействующей всех сил, действующих на манипуляторную машину и др. [1, 4]. По методике Ковровского экскаваторного завода определяется коэффициент статической устойчивости с учетом только сил тяжести элементов конструкции машины и грунта в ковше.

Для упрощения анализа введем следующие ограничения:

- движением манипулятора в вертикальной плоскости можно пренебречь, так как это движение не может привести к выходу центра масс за линию опорного контура;

- опрокидывающими моментами от сил ветра и центробежных сил при повороте рукояти можно пренебречь;

- грейфер и центр тяжести материала совпадают;

- стойка колонны манипулятора – вертикальна;

- манипуляторная машина находится на горизонтальной поверхности;

- стрела – однородный стержень;

- грейфер находится на жесткой связи, поэтому вертикальными колебаниями материала пренебрегаем.

В механике запас устойчивости сооружения полагают равным отношению удерживающего момента к опрокидывающему моменту $K = M_{уд}/M_{оп}$. Обычно эту величину для обеспечения устойчивости принимают равной 1,2...1,5. Процессы, происходящие при наклоне машины, стоящей на деформируемом грунте, отличаются от процессов, происходящих при наклоне машины, стоящей на недеформируемом грунте [3].

Когда ТТА находится на податливом торфяном грунте, еще не опрокидываясь, он может наклоняться вследствие значительного удельного давления под одним из концов опор и деформации залежи. При этом центр тяжести машины сместится в сторону опрокидывания. Если деформация залежи будет происходить в пределах упругих форм и силы реакции залежи задержат дальнейшее опускание края опорной поверхности, то процесс опрокидывания будет задержан. Условие устойчивости машины на залежи состоит в том, приращение опрокидывающего, момента должно быть меньше приращения момента сил реакции залежи.

Для машин, работающих на торфяной залежи, характеристикой запаса устойчивости служит коэффициент запаса устойчивости, предложенный проф. Мурашовым М.В. [3]. Опыт показывает, что для машин, работающих в условиях торфяного производства, следует принимать значение коэффициента запаса устойчивости не менее 8.

Одним из главных параметров гидроманипулятора является грузовой момент M , определяемый относительно шарнира крепления его стрелы на поворотной колонне, а основными силовыми и размерно-геометрическими параметрами – значениями грузоподъемности Q при минимальном и максимальном вылетах стрелы, минимального и максимального вылетов стрелы L и др.

В качестве расчетного принимается случай, когда манипулятор вынимает грейфером торфяное сырье на вылете стрелы 3,3 м находится под прямым углом относительно продольной оси машины (рисунок).

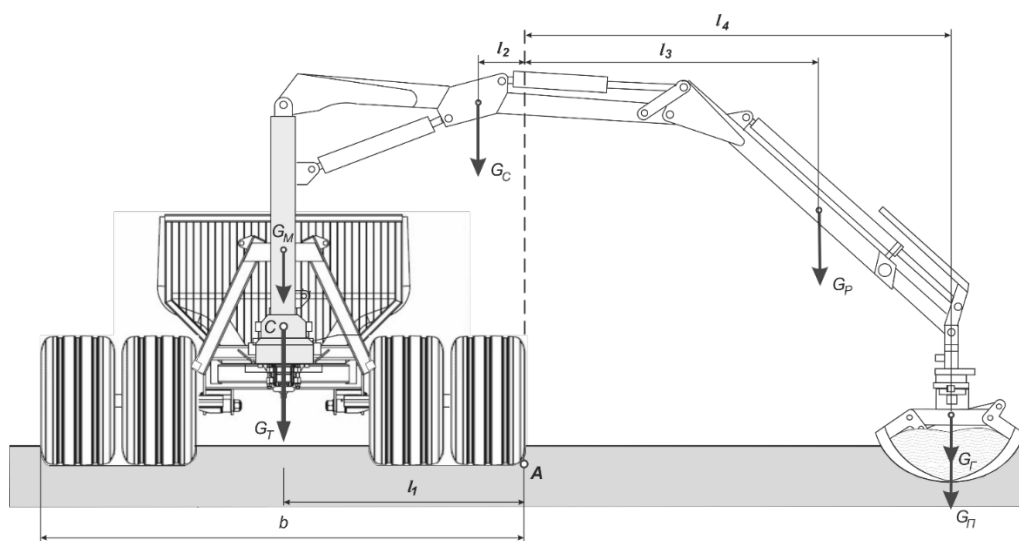


Рис. – Схема к расчету поперечной устойчивости машины против опрокидывания при выемке торфяного сырья

Пользуясь схемой (рисунок), составим уравнение равновесия моментов всех сил относительно точки А:

$$\Sigma M_A = 0.$$

Удерживающий момент:

$$M_{уд} = G_T l_1 + G_M l_1 + G_C l_2,$$

где G_T – сила тяжести транспортно-тракторного агрегата (без манипулятора); G_M – сила тяжести колонны манипулятора; G_C – сила тяжести стрелы манипулятора; l_1 , l_2 – расстояние от ребра опрокидывания до центра тяжести соответствующей сборочной единицы.

Опрокидывающий момент:

$$M_o = G_P l_3 + G_I l_4 + G_{II} l_4,$$

где G_P – сила тяжести рукоятки манипулятора; G_I – сила тяжести грейфера; G_{II} – сила отрыва материала от залежи; l_3 , l_4 – расстояние от ребра опрокидывания до центра тяжести соответствующей сборочной единицы.

Приравняем моменты с учетом коэффициента запаса устойчивости K :

$$G_T l_1 + G_M l_1 + G_C l_2 = K(G_P l_3 + G_I l_4 + G_{II} l_4).$$

Отсюда сила тяжести грейфера и сила отрыва материала от залежи:

$$G_I + G_{II} = \frac{G_T l_1 + G_M l_1 + G_C l_2 - G_P l_3}{K l_4}.$$

Задавая известные значения масс и расстояний от ребра опрокидывания до центра тяжести соответствующих сборочных единиц с учетом коэффициента запаса устойчивости $K=8$ получаем значение силы при максимальном вылете стрелы 3,3 м:

$$G_I + G_{II} = 2816,3 \text{ Н}.$$

Рассмотренная статическая устойчивость ТТА с манипулятором и выемочным грейфером от опрокидывания позволяет подобрать параметры грейфера с учетом параметров машины, плотности материала и усилия отрыва торфяного сырья от залежи.

Например, рассмотренный транспортно-тракторный агрегат с манипулятором и выемочным грейфером массой 130 кг не опрокинется на торфяной залежи при выемке торфяного сырья при вылете стрелы 3,3 м и с усилием отрыва материала от залежи до 1541 Н. Установлено, что с учетом коэффициента запаса устойчивости машины на торфяной залежи $K=8$ эти данные соответствует объему грейфера $V=0,13 \text{ м}^3$ при массе вынимаемого торфяного сырья 85-90 кг,

что вполне достаточно для проведения выемочно-погрузочных операций при селективной добыче торфяного сырья. Для дополнительного снижения нагрузки на шины и повышения устойчивости полуприцепа во время выемочно-погрузочных работ система оборудована гидравлическими аутригерами.

Литература

1. Добрачев А.А., Раевская Л.Т., Швеи А.В. Кинематические схемы, структуры и расчет параметров лесопромышленных манипуляторных машин: монография. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 128 с.
2. Михайлов А.В., Таранов А.Г. Комплект выемочного оборудования для селективной добычи торфяного сырья. Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. трудов III междунар. науч.-пр. конф. Том II. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. С. 55-59.
3. Самсонов Л.Н., Синицын В.Ф. Торфяные машины и оборудование: Учеб. пособие. Ч. I: Общие сведения о торфяных машинах. Взаимодействие ходовых устройств с торфяной залежью. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2006. 140 с.
4. Таубер Б.А. Подъемно-транспортные машины: учебник для вузов. – М.: Экология, 1991. 528 с.

References

1. Dobrachev A.A., Raevskaja L.T., Shvec A.V. Kinematicheskie shemy, struktury i raschet parametrov lesopromyshlennykh manipulyatornykh mashin: monografiya. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2014. 128 s.
2. Mikhailov A.V., Taranov A.G. Komplekt vyemochного oborudovaniya dlja selektivnoy dobychi torfjanogo syr'ja. Innovacii na transporte i v mashinostroenii: sb. trudov III mezhdunar. nauch.-pr. konfer. Tom II. – SPb.: Nacional'nyj mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyj», 2015. S. 55-59.
3. Samsonov L.N., Sinicyn V.F. Torfjanye mashiny i oborudovanie: Uchebnoe posobie. Ch. I: Obshhie svedeniya o torfjanykh mashinah. Vzaimodejstvie hodovykh ustrojstv s torfjanoy zalez'ju. 1-e izd. Tver': TGTU, 2006. 140 s.
4. Tauber B.A. Pod'emno-transportnye mashiny: uchebnik dlja vuzov. – M.: Jekologija, 1991. 528 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.026

Михайлова Л.Н.

ORCID: 0000-0002-2288-5319, Кандидат технических наук,

Самарский государственный технический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ТОРЦОВ РОЛИКОВ

Аннотация

В статье рассмотрена схема непрерывного шлифования сферических торцов роликов периферией шлифовального круга. Установлено условие влияния технологических параметров на погрешность формы торца ролика. Представлены результаты экспериментального исследования процесса шлифования сферических торцов роликов, позволяющие повысить точность сферического торца ролика.

Ключевые слова: шлифование сферических торцов роликов, конических подшипников.

Mikhailova L.N.

ORCID: 0000-0002-2288-5319, PhD in Engineering,

Samara State Technical University

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF SPHERICAL ROLLERS ENDS GRINDING

Abstract

The article considers the scheme continuous grinding the spherical ends of the rollers of the grinding wheel periphery. It was established under the influence of process parameters on the error form roller end. The results of experimental research of the process of grinding the spherical ends of the rollers, allowing improve the accuracy of the spherical end of the roller.

Keywords: grinding of spherical ends rollers of tapered bearing.

При обработке сферических торцовых поверхностей методом непрерывного шлифования периферией круга контакт ролика с инструментом происходит по площадке, величина и форма которой зависит от длины контакта деталь-инструмент. В данном случае длиной контакта является линия пересечения сферы с поверхностью шлифовального круга (рис.1).

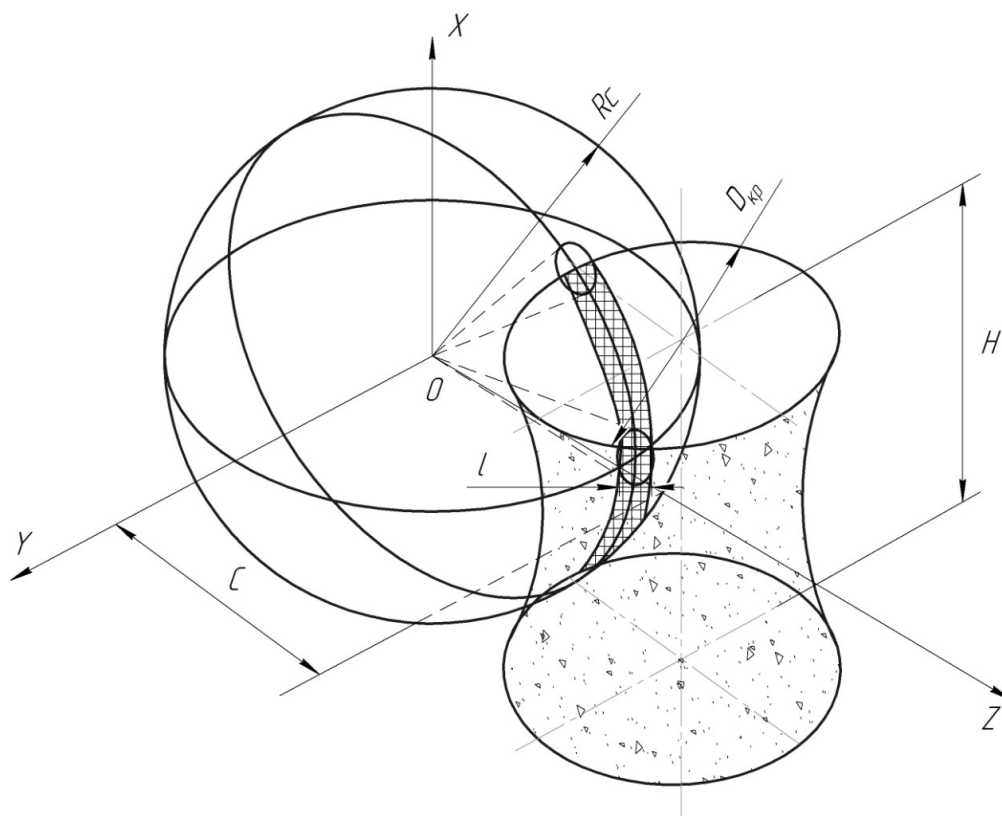


Рис. 1 – Схема определения длины контакта детали с инструментом при непрерывном шлифовании периферией шлифовального круга

Для определения длины контакта определялась система двух уравнений: первое – описывает сферу, второе – поверхность шлифовального круга (тороид). После решения системы уравнений получаем:

$$L = 2 \sqrt{R_c^2 - X^2 - \left[\frac{C \sqrt{R_c^2 - X^2}}{C - t_p} + \frac{t_p^2 - 2Ct_p}{2(C - t_p)} \right]^2}, \quad (1)$$

где C – межосевое расстояние шлифовального круга и приспособления, мм;

t_p – глубина резания, мм;

R_c – радиус сферического торца ролика, мм;

H – высота шлифовального круга (X), мм.

Длина контакта, рассчитанная по формуле (1), неравномерно распределена по площадке контакта торца ролика с периферией профильного круга в зависимости от межосевого расстояния, высоты шлифовального круга и расположения детали в зоне обработки.

От длины контакта зависит время взаимодействия торца ролика с кругом, которое неравномерно на различном расстоянии от центра торца ролика, а следовательно, возникает погрешность профиля сферы торца ролика. Уменьшение высоты шлифовального круга H приводит к снижению неравномерного времени взаимодействия торца ролика и снижению погрешности профиля сферы торца. Условия шлифования при $H = 0$ близки условиям шлифования методом огибания, когда изделие сообщают вращение вокруг его оси, а инструменту – круговую подачу относительно оси, совпадающей с центром обрабатываемой сферы. Уменьшать высоту круга необходимо до такой величины, которая была бы достаточной для получения заданной шероховатости и съема припуска с торцевой поверхности.

При выполнении условия

$$\frac{H}{250 S_c} n_p \sqrt{t_p} \sqrt{\frac{1}{D_{kp}}} \rightarrow 0 \quad (2)$$

снижается уровень погрешности формы торца ролика.

На погрешность профиля торца влияют также скорость подачи деталей в зону шлифования S_c и частота вращения детали n_p и высота шлифовального круга H , которые в совокупности представляют собой количество оборотов детали в зоне шлифования n_Σ . С уменьшением глубины резания t_p и увеличением диаметра шлифовального круга D_{kp} повысится точность профиля торцевой поверхности. При глубине $t_p = 0$ не будет происходить процесс шлифования, поэтому глубину резания необходимо оптимизировать до величины, достаточной для процесса шлифования и обеспечивающей съём припуска с заготовки. Увеличение диаметра шлифовального круга ограничивается конструкцией станка.

Проведены исследования шлифования торцов ролика типа 6-7705У с целью определения оптимальных параметров: высоты шлифовального круга H , скорости подачи деталей в зону шлифования S_c и частоты вращения детали n_p , при которых обработанный сферический торец ролика имеет заданную точность.

Экспериментальные исследования осуществлялись на сферошлифовальном станке модели БСП-200[1].

Одной из первых задач по повышению качества обработки сферических торцов роликов является подбор инструмента. Шлифовальный круг выполнен из нескольких слоёв, причем каждый слой имеет свою характеристику и высоту [2]. Наборные круги после правки образуют рабочую зону. Первый слой имеет характеристику 14А16ПС2Б, второй - 14А8ПСМ1В и третий – 92АМ28ПМ35Р. Высота круга принималась от 120 мм до 185 мм (табл.1.).

Наилучшие результаты точностных характеристик торца ролика были достигнуты при шлифовании кругами высотой 120-125 мм (рис.2.).

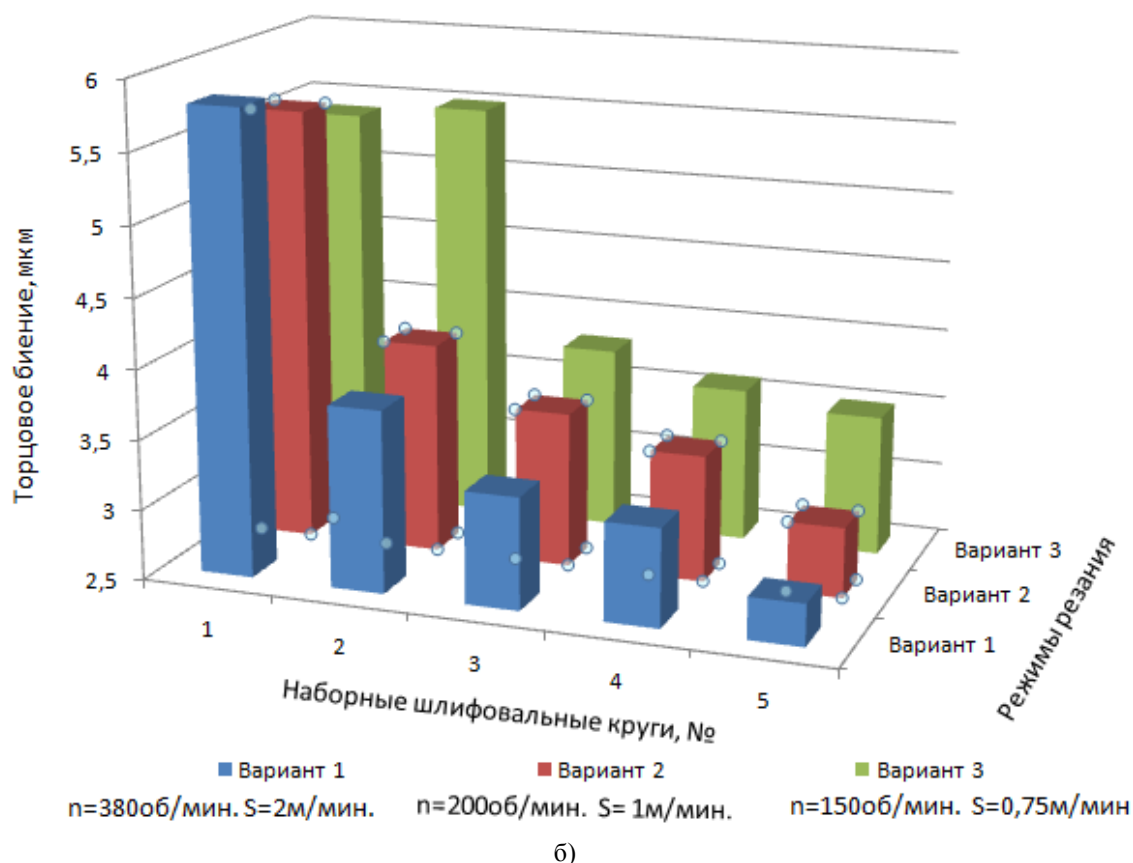
По экспериментальным данным при высоте круга 120мм определены суммарные количества оборотов в зоне шлифования. При суммарном количестве оборотов от 12 до 26, радиус сферы торца роликов находится в поле допуска. Различными сочетаниями режимов обработки можно достичь одинакового значения радиуса сферы. Например, радиус сферы 130 мм можно получить при $S_c = 0,75$ мм и $n_\Sigma = 48$, а также при $S_c = 2,0$ м/мин и $n_\Sigma = 38$.

Таблица 1 – Варианты наборных шлифовальных кругов

Вариант	Размеры и характеристики слоёв наборных кругов		
	Характеристики слоёв круга	Размеры слоёв круга, мм	Высота наборного круга, мм
1	14А16ПС2Б	500х43х305	163
	14А8ПСМ1В	500х25х305	
	92АМ28ПМ35Р	500х25х305	
	Войлок	500х60х305	
	Текстолит	500х10х305	
2	14А16ПС2Б	500х40х305	185
	14А8ПСМ1В	500х50х305	
	92АМ28ПМ35Р	500х45х305	
	Войлок	500х40х305	
3	14А16ПС2Б	500х40х305	165
	14А8ПСМ1В	500х50х305	
	92АМ28ПМ35Р	500х25х305	
	Войлок	500х50х305	
4	14А16ПС2Б	500х40х305	125
	14А8ПСМ1В	500х50х305	
	92АМ28ПМ35Р	500х25х305	
	Текстолит	500х10х305	
5	14А16ПС2Б	500х40х305	120
	14А8ПСМ1В	500х25х305	
	92АМ28ПМ35Р	500х45х305	
	Текстолит	500х10х305	



а)



б)

Рис. 2 – Диаграммы параметров сферических торцов роликов при шлифовании наборными кругами:
а) радиуса сферы R_c ; б) торцового биения t

На основе обработки результатов исследований построена пространственная зависимость радиуса сферы от частоты вращения и скорости подачи роликов (рис.3.). По графику, удобному для практического применения, можно определить при допустимых значениях радиуса сферы 108...118 мм оптимальные режимы шлифования, позволяющие обрабатывать сферу торца ролика с требуемой точностью. Это можно сделать при скорости подачи 1,5 м/мин и более, и частоты вращения ролика от 400 об/мин и менее.

Статистическая обработка результатов экспериментального исследования проводилась по форме гистограммы и проверялись критерием согласия Колмогорова, при этом радиус сферы имеет нормальный закон распределения, а торцовое биение – закон эксцентриситета.

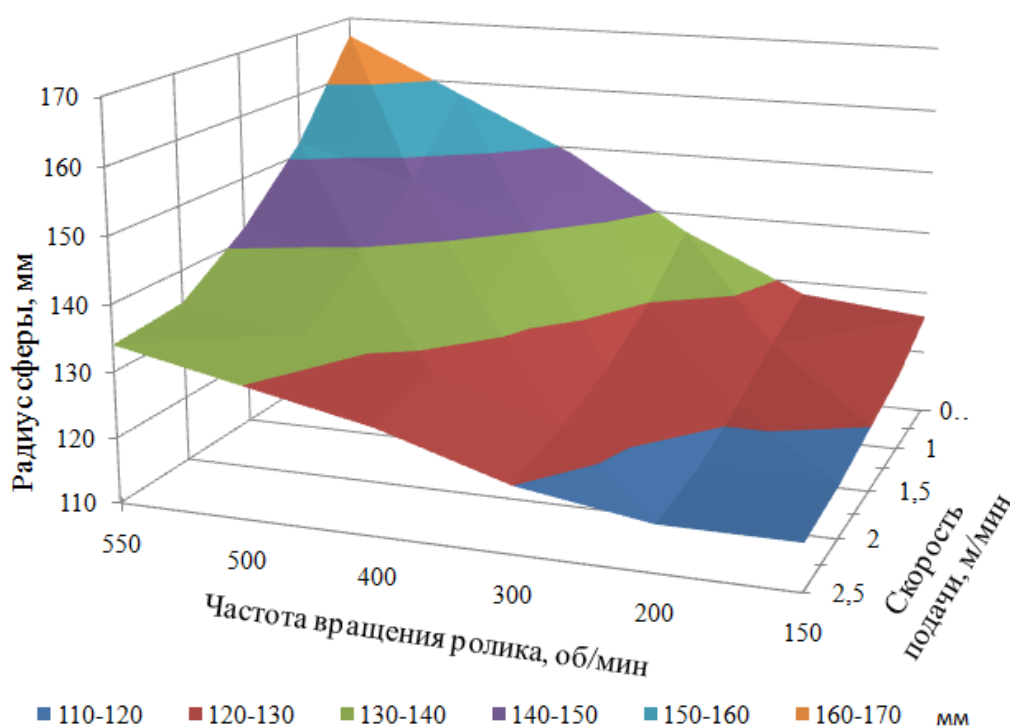


Рис. 3 – Влияние режимов обработки на радиус сферы торца ролика

Рекомендации для использования режимов обработки сферических торцов роликов, которые повышают точность торца ролика, проверялись на роликах 6-7705У в производственных условиях.

В результате проведенных исследований влияния режимов обработки на качество торца ролика установлено:

- наибольшее влияние на радиус сферы торца оказывает частота вращения и скорость подачи ролика;
- важным показателем процесса шлифования сферического торца является суммарное количество оборотов ролика в зоне шлифования;
- получены эмпирические зависимости радиуса сферы от частоты вращения и скорости подачи роликов;
- рекомендованные оптимальные режимы (для роликов 6-7705У) апробированы в производственных условиях изготовления тел качения и показали хорошие результаты.

Литература

1. Михайлова Л.Н. Исследование шлифование сферических поверхностей с целью повышения стабильности процесса//Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия: материалы XII международной научно-практической конференции (Россия, г. Новосибирск, 19-20.06.2015 г.). – Новосибирск, Международный Научный Институт «Education», №5(12), 2015. - С.77-81.

2. Михайлова Л.Н. Износ фасонного круга при непрерывном сферическом шлифовании//Высокие технологии в машиностроении: материалы Всерос. научно-технической интернет - конференции с междунар. участием (г. Самара, 17-20.11.2010 г.). – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. С.49-50.

References

1. Mihajlova L.N. Issledovanie shlifovanie sfericheskikh poverhnostej s cel'ju povyshenija stabil'nosti processa//Nauchnye perspektivy XXI veka. Dostizhenija i perspektivy novogo stoletija: materialy XII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Rossija, g. Novosibirsk, 19-20.06.2015 g.). –Novosibirsk: Mezhdunarodnyj Nauchnyj Institut «Education», №5(12), 2015. S. 77-81.

2. Mihajlova L.N. Iznos fasonnogo kruga pri nepreryvnom sfericheskom shlifovanii//Vysokie tehnologii v mashinostroyenii: materialy Vseros. nauchno-tehnicheskoy internet - konferencii s mezhdunar. uchastiem (g. Samara, 17-20.11.2010 g.). – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2010. S. 49-50.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.268

Наймушина О.Э.¹, Наймушин И.Н.²

¹ORCID: 0000-0002-2139-6150, Кандидат педагогических наук, ²ORCID: 0000-0002-2139-6150, Студент, Технологический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

ОСОБЕННОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация

В статье рассмотрена актуальность обучения студентов-программистов специализированным дисциплинам, связанным со сферой будущей деятельности – машиностроением, и рассмотрен конкретный пример использования профильных базовых знаний при разработке приложения. Показано, что знание профильных дисциплин позволяет разработать более удобный интерфейс и полнее автоматизировать расчеты за счет преобразования исходных формул.

Ключевые слова: приложение, программа, машиностроение, прочностной расчет.

Naymushina O.E.¹, Naymushin I.N.²

¹ORCID: 0000-0002-2139-6150, PhD in Pedagogy, ²ORCID: 0000-0002-2139-6150, Student, Technological Institute of National research nuclear University "MEPHI"

APPLICATION DEVELOPMENT FEATURE FOR THE ENGINEERING INDUSTRY

Abstract

The article discusses the relevance of training of students-programmers specialized disciplines related to the scope of their future work - mechanical engineering. It also discusses a concrete examples of the use of relevant basic knowledge of applications development. It is shown that the knowledge of specialized disciplines allows you to develop a more user-friendly interface and fully automated calculations by converting the original formulas.

Keywords: application, software, mechanical engineering, strength calculation.

Большое количество предприятий России связано с машиностроением. Для увеличения производительности труда конструкторов, электронного документооборота используется определенное программное обеспечение («Компас 3D» и др.). Однако вычерчивание нужных деталей и сборок – это конечный этап проектирования. До этого конструктор должен четко знать, при каких нагрузках, в каких режимах будет работать его будущее изделие. И в этом случае на первый план выдвигается задача осуществления прочностных расчетов конструкций и их элементов. Перед созданием чертежа конструктор должен удостовериться, что при заданных характеристиках проектируемое изделие выдержит прикладываемые нагрузки, то есть будет работоспособно.

В настоящее время элементы конструкций, как и сами конструкции, обычно рассчитываются «вручную» ввиду отсутствия баз прочностных расчетов (или их высокой стоимости). В связи с этим обстоятельством появились программы он-лайн для расчетов элементов конструкций на различные виды нагрузок. Тем не менее многие из них предназначены для расчетов простых видов нагрузок – растяжения, сжатия, среза, кручения и изгиба. Действительно, конструкциями, работающими на растяжение и сжатие, являются цепи, канаты, тросы, стержни в фермах, колонны. Основной расчет ненапряженных болтов, заклепок производится на срез. Валы, как правило, работают на кручение, а балки – на изгиб. Но, как правило, на практике элементы конструкций подвергаются комбинации простых видов нагрузок, т.е. имеются так называемые «сложные сопротивления».

Анализ интернет-источников на предмет предоставления приложений и он-лайн программ для расчета элементов конструкций на различные виды нагрузок показал, что наиболее полно представлены расчеты на изгиб и срез, частично – на растяжение/сжатие и устойчивость конструкций. Программы на растяжение/сжатие представлены не во всей полноте, т.к. при наличии прочностного расчета отсутствует расчет на устойчивость и наоборот. Расчет на сложные сопротивления представлены только в виде расчета на совместное действие растяжения и изгиба [1, 2].

Для разработки программ, учитывающих сложную нагрузку, недостаточно знания только одного программирования. Поэтому становится актуальной подготовка программистов, владеющих базовыми знаниями в области прочностных расчетов конструкций, освоивших такие дисциплины, как «Сопротивление материалов», «Основы проектирования и конструирования».

Знание теоретических основ расчетов конструкций на прочность, как правило, значительно упрощает создание приложений. Пусть при разработке программы расчета внецентренного растяжения/сжатия используется общая формула:

$$|\sigma_{\max}| = \pm F \left(\frac{1}{A} \pm \frac{x_A}{W_y} \pm \frac{y_A}{W_x} \right) \leq [\sigma] \quad (1)$$

где F – сила, Н,

A – площадь поперечного сечения, мм^2 ,

x_A, y_A – координаты точки приложения нагрузки, мм,

W_x, W_y – осевые моменты сопротивления сечения, мм^3 ,

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, МПа.

Так как при расчетах используется максимальное напряжение и хрупкие материалы с различными пределами прочности при растяжении и сжатии не будут включены в расчет, можно записать данную формулу следующим образом:

$$|\sigma_{\max}| = |F| \left(\frac{1}{A} + \left| \frac{x_A}{W_y} \right| + \left| \frac{y_A}{W_x} \right| \right) \leq [\sigma], \quad (2)$$

Тогда часть расчетов (W_x, W_y) перекладывается на пользователя, что является нецелесообразным. Однако создание интуитивно понятного интерфейса программы и замена формулы (2) ее частными видами для каждой формы поперечного сечения, показанной в окне приложения (Рис.1), позволяет полностью автоматизировать проверку конструкции.

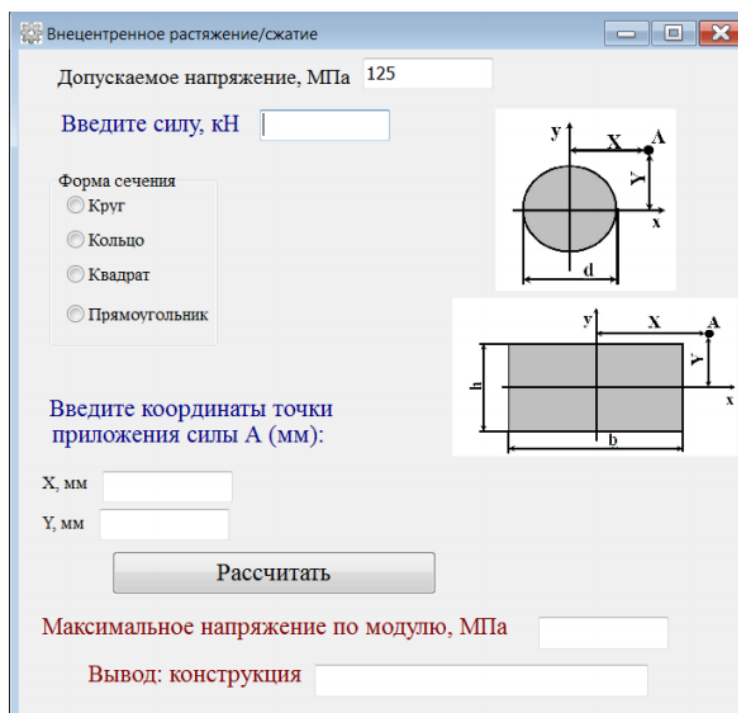


Рис. 1 – Автоматизация расчета осевых моментов сопротивления сечения

Для прямоугольного сечения формула (2) будет иметь следующий вид:

$$|\sigma_{\max}| = |F| \left(\frac{1}{bh} + \left| \frac{6y}{bh^2} \right| + \left| \frac{6x}{hb^2} \right| \right) \leq [\sigma] \quad (3)$$

где b – ширина прямоугольника, мм,

h – высота прямоугольника, мм.

Для квадратного сечения

$$|\sigma_{\max}| = |F| \left(\frac{1}{a^2} + \left| \frac{6y}{a^3} \right| + \left| \frac{6x}{a^3} \right| \right) \leq [\sigma] \quad (4)$$

где a – сторона квадрата.

Для круглого сечения

$$|\sigma_{\max}| = \left| \frac{F}{\pi} \left(\frac{4}{d^2} + \left| \frac{32x}{d^3} \right| + \left| \frac{32y}{d^3} \right| \right) \right| \leq [\sigma] \quad (5)$$

где d – диаметр круга.

Для кольцевого сечения

$$|\sigma_{\max}| = \left| \frac{F}{\pi} \left(\frac{4}{D^2 - d^2} + \left| \frac{32Dx}{D^4 - d^4} \right| + \left| \frac{32Dy}{D^4 - d^4} \right| \right) \right| \leq [\sigma] \quad (6)$$

где D – наружный диаметр кольца,

d – внутренний диаметр кольца.

В этом случае после выбора пользователем формы сечения появляются дополнительные поля ввода данных. Для прямоугольника это ширина и высота, для квадрата – его сторона; при выборе круглого сечения пользователь должен будет ввести в окно ввода диаметр, а при кольцевом сечении – два диаметра. Затем программа с помощью оператора ветвления осуществляет нужный вид расчета.

На форме «Внецентрированное растяжение/сжатие», показанной на рисунке выше, реализованы следующие компоненты:

- 1) Компоненты формы TLabel – надписи к окнам;
- 2) Компоненты формы TEdit – окна для вывода нормативного коэффициента запаса прочности, ввода параметров формы сечений (диаметров и длин сторон), координат точки приложения нагрузки X и Y и результатов расчетов – максимального напряжения по модулю и общего вывода о работоспособности конструкции;
- 3) Компоненты формы TButton – кнопки, при нажатии которых в событиях onClick предусмотрены: кнопка «Применить форму сечения» – очистка содержимого окон для ввода характеристик поперечных сечений и активации нужных окон, связанных с радиокнопками, кнопка «Рассчитать» – расчет для выбранной формы поперечного сечения модуля максимального напряжения по формулам (3)-(6).
- 4) Компоненты формы TImage – отображение графических изображений-рисунков для визуализации положения точки приложения силы.
- 5) Компонент формы TGroupBox – контейнер для размещения компонентов TRadioButton.
- 6) Компонент TRadioButton – набор радиокнопок для выбора вида поперечного сечения и активации необходимых для расчетов параметров.

После открытия формы пользователь может видеть значение допускаемого напряжения, переданное из основной формы, которое он может изменить. Основная форма предварительно производит расчет допускаемого напряжения на основе материала и вида нагрузки, выбранных пользователем. После ввода силы необходимо указать форму сечения и нажать на появившуюся кнопку «Применить форму сечения», после чего активируются нужные параметры для ввода характеристик сечения:

```
if (RadioButton1->Checked)
{
Label7->Visible=True;
Edit5->Visible=True;
}
```

Событие обработки кнопки «Рассчитать» включает считывание полей ввода, анализ выбранных радиокнопок, расчетов по формулам (3)-(6) и вывод в окна Edit11 и Edit12 результатов расчетов.

После создания приложения было протестировано на ввод корректных и некорректных данных. Первый вид тестирования приведен ниже.

1. Прямоугольное сечение $b = 40$ мм, $h = 60$ мм. Координаты точки приложения сжимающей силы $F = 150$ кН: $X = 20$ мм, $Y = 30$ мм (на ребре).

По формуле (3)

$$|\sigma_{\max}| = |-150000| \left(\frac{1}{40 \cdot 60} + \left| \frac{6 \cdot 30}{40 \cdot 60^2} \right| + \left| \frac{6 \cdot 20}{60 \cdot 40^2} \right| \right) = 437,5 \text{ МПа}$$

2. Квадратное сечение $a = 50$ мм. Координаты точки приложения сжимающей силы $F = 200$ кН: $X = 20$ мм, $Y = -10$ мм (внутри сечения).

По формуле (4)

$$|\sigma_{\max}| = |F| \left(\frac{1}{a^2} + \left| \frac{6y}{a^3} \right| + \left| \frac{6x}{a^3} \right| \right) = |-200000| \left(\frac{1}{50^2} + \left| \frac{-6 \cdot 10}{50^3} \right| + \left| \frac{6 \cdot 20}{50^3} \right| \right) = 368 \text{ МПа}$$

3. Круглое сечение $d = 100$ мм. Координаты точки приложения растягивающей силы $F = 10$ кН: $X = 400$ мм, $Y = 0$ мм (снаружи сечения).

По формуле (5)

$$|\sigma_{\max}| = \left| \frac{F}{\pi} \left(\frac{4}{d^2} + \left| \frac{32x}{d^3} \right| + \left| \frac{32y}{d^3} \right| \right) \right| = \frac{10000}{3,1416} \left(\frac{4}{100^2} + \frac{32 \cdot 400}{100^3} + 0 \right) = 42,0168 \text{ МПа}$$

4. Кольцевое сечение $D = 10$ мм, $d = 25$ мм. Координаты точки приложения растягивающей силы $F = 20$ кН: $X = -20$ мм, $Y = -30$ мм (снаружи сечения).

По формуле (6)

$$|\sigma_{\max}| = \left| \frac{F}{\pi} \left(\frac{4}{D^2 - d^2} + \left| \frac{32Dx}{D^4 - d^4} \right| + \left| \frac{32Dy}{D^4 - d^4} \right| \right) \right| = \frac{20000}{3,1416} \left(\frac{4}{25^2 - 10^2} + \left| \frac{-32 \cdot 25 \cdot 20}{25^4 - 10^4} \right| + \left| \frac{-32 \cdot 25 \cdot 30}{25^4 - 10^4} \right| \right) =$$

$$= 717,528 \text{ МПа}$$

Результаты работы программы полностью соответствуют рассмотренным тестовым примерам с точностью до шестого знака после запятой.

Таким образом, знание основ машиностроения позволяет программистам полностью автоматизировать прочностные расчеты, которыми пользуются конструкторы, перейти от общих формул к их частным случаям и разработать оптимальный интерфейс приложения.

Литература

1. Расчет элементов на изгиб и сжатие (Excel) [Электронный ресурс] URL: <http://dwg.ru/dnl/12708> (дата обращения 26.11.2015).
2. Решебник. Растяжение-сжатие стержня расчет онлайн [Электронный ресурс] URL: <https://reshebnik.su/catalog/69> (дата обращения 25.11.2015).

References

1. Raschet elementov na izgib i szatie [Jelektronnyj resurs] URL: <http://dwg.ru/dnl/12708> (data obrashhenija 26.11.2015).
2. Reshebnik. Rastyazhenie-szatie sterznja raschet online [Jelektronnyj resurs] URL: <https://reshebnik.su/catalog/69> (data obrashhenija 25.11.2015).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.220

Паровик Р.И.^{1,2}

¹ORCID: 0000-0002-1576-1860, кандидат физико-математических наук, доцент,
Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,

²Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

ОБ ОДНОЙ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ СХЕМЕ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ЭРЕДИТАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Аннотация

В статье рассматривается обобщение нелинейного осциллятора на случай учета свойства эредитарности или памяти. В этом случае модельное уравнение осциллятора приводится к уравнению с производными дробных порядков. Далее ставится задача Коши, которая решается с помощью явной конечно-разностной схемы. Исследованы вопросы аппроксимации, устойчивости и сходимости этой конечно-разностной схемы к точному решению.

Ключевые слова: эредитарность, численные методы, нелинейный осциллятор.

Parovik R.I.^{1,2}

¹ORCID: 0000-0002-1576-1860, PhD in Physics and Mathematics, Associate professor,

Vitus Bering Kamchatka State University, ²Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS
CONCERNING ONE FINITE DIFFERENCE SCHEMES FOR MATHEMATICAL MODELS HEREDITARITY
LINEAR OSCILLATOR

Abstract

The article discusses the generalization of nonlinear oscillator to the case of properties hereditarity or memory. In this case, the oscillator model of the equation is an equation with derivatives of fractional order. Then put the Cauchy problem, which is solved by the explicit finite-difference scheme. The problems of approximation, stability and convergence of the finite-difference scheme to the exact solution.

Keywords: hereditarity, numerical methods, nonlinear oscillator.

Введение

В настоящее время развивается новое научное направление в нелинейной динамике – дробная или фрактальная динамика [1]. Дробная динамика характеризует нелокальные по времени динамические процессы с памятью или эредитарностью. В такой динамической системе ее состояния зависят от предыстории. С точки зрения математики, такую систему можно описать с помощью интегро-дифференциальных уравнений, как в работе Вито Вольтерры по исследованию эредитарного осциллятора [2]. Если интегральный оператор обладает степенным ядром, то с помощью некоторых преобразований интегро-дифференциальные уравнения динамической системы переходят в уравнения с дробными производными [3-5]. Поэтому такую динамику называют дробной или фрактальной. Мы же будем называть ее эредитарной, а динамическими процессы – эредитарными как в работах [2,3,6].

В настоящей работе мы рассмотрим обобщение нелинейного осциллятора с трением и внешней силой, который описывает эрдитарный колебательный процесс. Это обобщение заключается во введении в модельное уравнение производных дробного порядка. Далее с помощью явной конечно-разностной схемы находится его решение [7,8]. В работе также рассматриваются вопросы аппроксимации, устойчивости и сходимости конечно-разностной схемы.

Постановка задачи

Рассмотрим следующую задачу Коши:

$$\partial_{0t}^{\beta(t)} x(\tau) + \lambda \partial_{0t}^{\gamma(t)} x(\tau) + \omega^{\beta(t)} \sin(x(t)) = f(t), \quad (1)$$

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = y_0,$$

где $\partial_{0t}^{\beta(t)} x(\tau) = \frac{1}{\Gamma(2-\beta(t))} \int_0^t \frac{\dot{x}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\beta(t)-1}}$, $\partial_{0t}^{\gamma(t)} x(\tau) = \frac{1}{\Gamma(1-\gamma(t))} \int_0^t \frac{\dot{x}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\gamma(t)}}$ – операторы производных дробных переменных порядков $1 < \beta(t) < 2$ и $0 < \gamma(t) < 1$, $\Gamma(x)$ – гамма-функция Эйлера, $\lambda, \omega, x_0, y_0$ – заданные параметры, $f(t)$ – внешнее воздействие, $t \in [0, T]$ – время процесса.

Отметим, что задача (1) в случае, когда $\beta = 2, \gamma = 1$ переходит в задачу для классического нелинейного осциллятора с трением и внешней силой. Заметим, что дробные параметры $\beta(t)$ и $\gamma(t)$ представляют собой ограниченные функции.

Методика решения

Задача (1) в общем случае не имеет точного решения. Поэтому мы будем искать решение с помощью теории разностных схем [9]. Построим явную конечно-разностную схему. Разобьем отрезок $[0, T]$ на N равных частей с постоянным шагом τ . Тогда $x(t_j) = x_j, t = j\tau$ – численное сеточное решение, аппроксимирующее решение $x(t)$ дифференциальной задачи (1). Операторы производных дробного порядка аппроксимируются следующим образом [10]:

$$\partial_{0t}^{\beta(t)} x(\tau) = \frac{\tau^{-\beta_j}}{\Gamma(3-\beta_j)} \sum_{k=0}^{j-1} [(k+1)^{2-\beta_j} - k^{2-\beta_j}] (x_{j-k+1} - 2x_{j-k} + x_{j-k-1}) + O(\tau^2), \quad (2)$$

$$\partial_{0t}^{\gamma(t)} x(\tau) = \frac{\tau^{-\gamma_j}}{\Gamma(2-\gamma_j)} \sum_{k=0}^{j-1} [(k+1)^{2-\gamma_j} - k^{2-\gamma_j}] (x_{j-k+1} - x_{j-k}) + O(\tau).$$

Подставляя соотношения (2) в уравнение (1), после некоторых преобразований приходим к следующей явной конечно-разностной схеме:

$$x_1 = \tau y_0 + x_0, \quad j = 0,$$

$$x_{j+1} = A_j x_j - B x_{j-1} - B \sum_{k=1}^{j-1} p_k^j (x_{j-k+1} - 2x_{j-k} + x_{j-k-1}) -$$

$$- C \sum_{k=1}^{j-1} q_k^j (x_{j-k+1} - x_{j-k}) - \mu \sin(x_j) + \xi f_j,$$

$$A_j = \frac{2A_1 + B_1}{A_1 + B_1}, \quad B = \frac{A_1}{A_1 + B_1}, \quad C = \frac{B_1}{A_1 + B_1},$$

$$\mu = \frac{\omega^{\beta_j}}{A_1 + B_1}, \quad \xi = \frac{\delta}{A_1 + B_1}, \quad A_1 = \frac{\tau^{-\beta_j}}{\Gamma(3-\beta_j)}, \quad B_1 = \frac{\lambda \tau^{-\gamma_j}}{\Gamma(2-\gamma_j)},$$

$$p_k^j = (k+1)^{2-\beta_j} - k^{2-\beta_j}, \quad q_k^j = (k+1)^{1-\gamma_j} - k^{1-\gamma_j}, \quad j = 1, \dots, N-1.$$

Заметим, что схема (3) имеет во внутренних точках второй порядок аппроксимации, однако за счет аппроксимации в граничных точках, порядок понижается до единицы. Это можно устранить, аппроксимируя значения в граничных точках специальным образом, например, введением фиктивного узла.

В рамках этой работы нас не будет интересовать улучшение схемы (3). Исследуем схему (3) на устойчивость и сходимость. Для этого проведем численный эксперимент. Можно показать, что функция $x(t) = t^2$ является решением следующей задачи Коши:

$$\partial_{0t}^{\beta(t)} x(\tau) + \lambda \partial_{0t}^{\gamma(t)} x(\tau) = f(t),$$

$$f(t) = \omega^{\beta(t)} \sin(t^2) + \frac{2t^{2-\beta(t)}}{\Gamma(3-\beta(t))} + \frac{2\lambda t^{2-\gamma(t)}}{\Gamma(2-\gamma(t))}, \quad x(0) = \dot{x}(0) = 0. \quad (4)$$

На рис.1 приведены расчетные кривые: кривая 1 – точное решение, кривая 2 – численное решение задачи (4), полученное по схеме (3) с учетом, что $\beta(t) = 2 - 0.006 \cos(3\pi t)$, $\gamma(t) = 1 - 0.003 \cos(3\pi t)$, $N = 1000$, $\lambda = 1$, $\varphi = 2$, $\tau = 0.03$, $\omega = 2$.

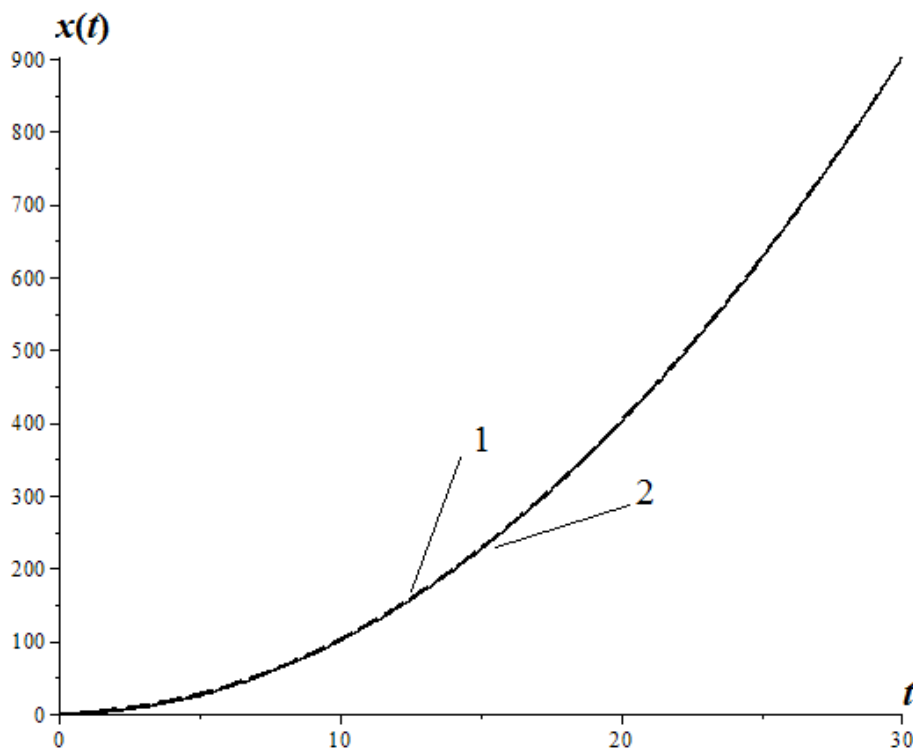


Рис. 1 – Расчетные кривые: 1- точное решение, 2 – численное решение, полученное по схеме (3)

На рис.1 видно, что численное решение задачи (4) хорошо аппроксимирует точное. Рассмотрим вопросы устойчивости и сходимости схемы (3). Напомним, что конечно-разностная схема будет являться устойчивой по правой части или по начальным данным, если их малое возмущение приводит к малому возмущению решения. Это определение можно записать так:

$$\max_{0 \leq j \leq N} |x_j^\varepsilon - x_j| \leq C \max_{0 \leq j \leq N} |\varepsilon_j|, \quad (5)$$

где x_j^ε – возмущенное решение задачи, x_j – невозмущенное решение задачи, ε_j – возмущение задачи, C – константа, которая не зависит от сеточных параметров.

Проведем численный эксперимент. Добавим сначала возмущение $\varepsilon(t) = (10-t)^{-3}$ в правую часть задачи (4) и решим возмущенную задачу с помощью схемы (3) при различных значениях узлов N расчетной сетки. Результаты приведены табл. 1.

Таблица 1 – Устойчивость по правой части

N	Максимальная ошибка
10	$2.08 \cdot 10^{-5}$
50	$5.8 \cdot 10^{-4}$
250	$3.1 \cdot 10^{-3}$
500	$4.1 \cdot 10^{-3}$
1000	$4.8 \cdot 10^{-3}$
2000	$5 \cdot 10^{-3}$
2500	$4.9 \cdot 10^{-3}$

Из табл.1 можно сделать вывод, что при выбранных значениях управляющих параметров задачи (4) и возмущении $\varepsilon(t)$, явная конечно-разностная схема (3) устойчива по правой части, так как значения максимальной по абсолютной величине ошибка между численным и точным решениями соизмеримы с максимальным значением возмущения $\max_j \varepsilon_j = 10^{-3}$.

Можно также заметить, что при увеличении количества узлов N в расчетной сетке, максимальная ошибка составляет величину $5 \cdot 10^{-3}$, что удовлетворяет неравенству (5).

Аналогично проведем численный эксперимент для проверки устойчивости по начальным данным конечно-разностной схемы (3). Введем в начальные данные возмущение вида: $\varepsilon(t) = (10-t)^{-4}$ и найдем решение возмущенной задачи с помощью схемы (3). Результаты эксперимента приведены в следующей табл. 2.

Таблица 2 – Устойчивость по начальным данным

N	Максимальная ошибка
10	$8.22 \cdot 10^{-4}$
50	$2.6 \cdot 10^{-4}$
250	$3.5 \cdot 10^{-4}$
500	$3.53 \cdot 10^{-4}$
1000	$3.55 \cdot 10^{-4}$
2000	$3.88 \cdot 10^{-4}$
2500	$3.56 \cdot 10^{-4}$

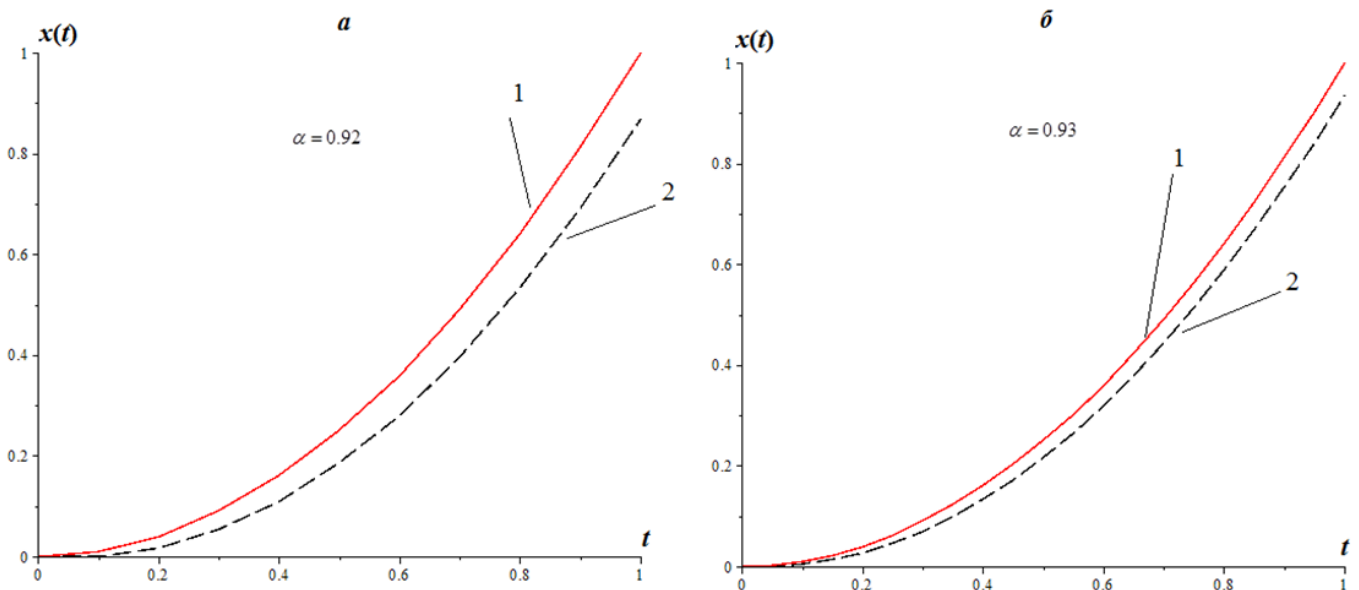
Из табл. 2 можно сделать вывод, что значения максимальной ошибки при увеличении количества узлов N расчетной сетки соизмеримы с возмущением $\max_j \varepsilon_j = 10^{-4}$. Поэтому в этом случае схема (3) устойчива по начальным данным.

Сходимость схемы (3) для задачи Коши проведем покажем с помощью численного эксперимента. Выберем значения управляющих параметров следующими: $N = 1000, \lambda = 100, \omega = 2, t \in (0, 1)$ и $\beta(t) = 1.8 - 0.001 \cos(3\pi t)$, $\gamma(t) = 0.8 - 0.002 \cos(3\pi t)$. Найдем максимальную по абсолютной величине ошибку между численным и точным решениями в зависимости от шага τ , а так же рассчитаем экспериментальный порядок сходимости численного решения к точному. Результаты эксперимента приведены в следующей табл. 3.

Таблица 3 – Сходимость схемы (3) к точному решению

N	τ	Максимальная ошибка	α
10	0.1	0.1201	0.92
20	0.05	0.06152	0.93
40	0.025	0.0268	0.98
80	0.0125	0.00092	1.06

Из табл.3. можно сделать вывод, что при уменьшении шага τ расчетной сетки максимальная ошибка уменьшается, а значения экспериментального порядка сходимости $\alpha = \ln(\text{максимальная ошибка}) / \ln(\text{шаг})$ близки к единице. Поэтому мы можем сделать вывод, что схема (3) сходится к точному решению с первым порядком (рис. 2).



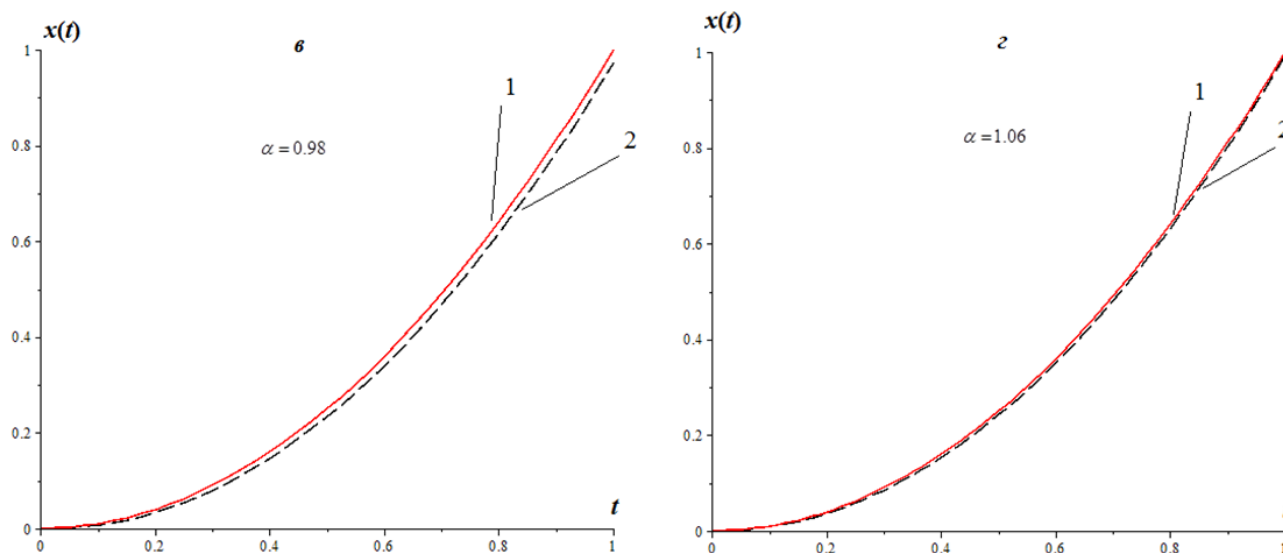


Рис. 2 – Расчетные кривые: 1- точное решение, 2- численное решение

Заключение

Как показали численные эксперименты, конечно-разностная схема (3) является устойчивой по правой части и начальным данным, а также сходится к точному решению с первым порядком. Конечно, если не известно точное решение, а как правило это справедливо для нелинейных уравнений, то анализ конечно-разностных схем усложняется. Однако всегда можно построить схему более высокого порядка точности, например, используя метод двойного счета или Рундсона [11].

Литература

1. Тарасов В.Е. Модели теоретической физики с интегро-дифференцированием дробного порядка. М.–Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 567 с.
2. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1982. 304 с.
3. Учайкин В.В. Метод дробных производных. Ульяновск: Артишок, 2008. 510 с.
4. Самко С.Г., Килбас А.А., Марычев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника, 1987. 688 с.
5. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его приложения. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
6. Паровик Р.И. Математическое моделирование эрдитарного осциллятора // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Т. 7., №5. С. 1001-1021.
7. Паровик Р.И. Конечно-разностные схемы для фрактального осциллятора с переменными дробными порядками // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2015. 2(11). С. 88-95. DOI: 10.18454/2079-6641-2015-11-2-88-95.
8. Паровик Р.И. О численном решении уравнения фрактального осциллятора с производной дробного переменного порядка от времени // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2014. 1(8). С. 60-65. DOI: 10.18454/2079-6641-2014-8-1-60-65.
9. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.
10. Паровик Р.И. Математическое моделирование линейных эрдитарных осцилляторов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2015. 178 с.
11. Петров И.Б., Лобанов А.И. Лекции по вычислительной математике. М.: БИНОМ, 2006. 523 с.

References

1. Tarasov V.E. Modeli teoreticheskoy fiziki s integro-differencirovaniem drobnogo porjadka. M.–Izhevsk: Izhevskij institut komp'yutnyh issledovaniy, 2011. 567 s.
2. Vol'terra V. Teoriya funkcionalov, integral'nyh i integro-differencial'nyh uravnenij. M.: Nauka, 1982. 304 s.
3. Uchajkin V.V. Metod drobnnyh proizvodnyh. Ul'janovsk: Artishok, 2008. 510 s.
4. Samko S.G., Kilbas A.A., Marychev O.I. Integraly i proizvodnye drobnogo porjadka i nekotorye ih prilozhenija. Minsk: Nauka i tehnika, 1987. 688 s.
5. Nahushev A.M. Drobnoe ischislenie i ego prilozhenija. M.: Fizmatlit, 2003. 272 s.
6. Parovik R.I. Matematicheskoe modelirovanie jereditarnogo oscilljatora // Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie. 2015. T. 7., №5. S. 1001-1021.
7. Parovik R.I. Konechno-raznostnye shemy dlja fraktal'nogo oscilljatora s peremennymi drobnymi porjadjkami // Vestnik KRAUNC. Fiziko-matematicheskie nauki. 2015. 2(11). S. 88-95. DOI: 10.18454/2079-6641-2015-11-2-88-95.
8. Parovik R.I. O chislenom reshenii uravnenija fraktal'nogo oscilljatora s proizvodnoj drobnogo peremennogo porjadka ot vremeni // Vestnik KRAUNC. Fiziko-matematicheskie nauki. 2014. 1(8). S. 60-65. DOI: 10.18454/2079-6641-2014-8-1-60-65.
9. Samarskij A.A. Teoriya raznostnyh shem. M.: Nauka, 1977. 656 s.
10. Parovik R.I. Matematicheskoe modelirovanie linejnyh jereditarnykh oscilljatorov. Petropavlovsk-Kamchatskij: KamGU im. Vitusa Beringa, 2015. 178 s.
11. Petrov I.B., Lobanov A.I. Lekcii po vychislitel'noj matematike. M.: BINOM, 2006. 523 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.017

Перехоженцев А.Г.¹, Груздо И.Ю.²¹Доктор технических наук, ²соискатель научной степени кандидата технических наук,

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**Аннотация**

Рассмотрены основные параметры, влияющие на температурно-влажностное состояние и разрушение поверхностных слоёв многослойных наружных ограждающих конструкций из капиллярно-пористых материалов. Проведён анализ погоды за холодный период 2012-2015 гг. и определено её влияние на долговечность ограждающих конструкций, которая связана с зоной резких колебаний температур, на примере наиболее распространённых в строительстве конструктивных систем, а так же проведено сравнение с аналогичными показателями в СП.

Ключевые слова: многослойные наружные ограждения зданий, поверхностные слои, зона резких колебаний температуры, климатическое воздействие, температурно-влажностное состояние поверхностных слоёв.

Perehozhentsev A.G.¹, Gruzdo I.U.²¹PhD in Engineering, ²postgraduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering**INFLUENCE OF CLIMATE IMPACTS ON TEMPERATURE AND HUMIDITY STATE OF THE SURFACE LAYERS OF THE MULTILAYER EXTERNAL WALLING BUILDINGS****Abstract**

The main parameters affecting the temperature and humidity state and the destruction of the surface layers of the multilayer external walling of capillary-porous materials. Conducted an analysis for the cold weather period 2012-2015. and determined its impact on the durability of building envelopes, which is connected to the zone of sharp fluctuations in temperature, the example of the most common in the construction of structural systems, as well as a comparison with the same indications in the joint venture.

Keywords: multi-layered exterior fence building, surface layers, the zone of sharp temperature fluctuations, climatic impacts, temperature and humidity condition of the surface layers.

Повышение требований к теплозащитным свойствам наружных ограждений зданий в связи с введением новых норм [1,2] привело к необходимости проектировать наружные ограждающие конструкции, многослойными, с применением эффективных утеплителей. Влияние климатических воздействий на температурно-влажностное состояние поверхностных слоёв таких конструкций мало изучено, поэтому проблема защиты от переувлажнения ограждающих конструкций остаётся наиболее актуальной [3-15]. Между тем, именно на поверхностные слои наружных ограждений зданий климатические факторы оказывают максимальное воздействие. Накопление влаги в холодный период года в зоне резких колебаний температуры часто приводит к разрушению этого слоя.

В [16-21] подробно описано влияние влагонакопления на микроклимат помещения и долговечность ограждающих конструкций на примере разных конструктивных решений наружных стен.

Разрушение поверхностных слоёв наружных ограждающих конструкций приводит не только к необходимости ремонта поверхности, но может привести и к капитальному ремонту всего ограждения. (рис.1,2). На рисунке 1 видно разрушение защитного слоя керамзитобетонной панели, в которой слой резких колебаний температуры совпал с положением арматурной сетки. На рисунке 2 видно разрушение лицевого щелевого керамического кирпича в результате накопления конденсационной влаги в пустотах у наружной поверхности.



Рис. 1 – Разрушение поверхностного слоя керамзитобетонной панели



Рис. 2 – Процесс разрушения красного кирпича в результате влияния влаги и знакопеременных температур

Долговечность поверхностных слоёв наружных ограждающих конструкций зависит от их температурно-влажностного состояния в холодный период года. В свою очередь, температурно-влажностное состояние наружных ограждающих конструкций зданий зависит от многих факторов. Прежде всего, от нестационарных климатических воздействий в холодный период года, а также от температуры и влажности воздуха внутри помещения, от свойств материалов из которых состоит конструкция, от расположения плотных и пористых слоёв конструкции по отношению к потокам тепла и влаги.

Основной причиной разрушения конструкций из пористых материалов является попеременное замерзание и оттаивание материала увлажненного сверх сорбционной влагой, например, в результате термической конденсации. Известно, что процесс увлажнения гигроскопической влагой (сорбционное увлажнение) происходит от мелких пор к более крупным. При термической конденсации увлажняются все свободные поры, как правило, наиболее крупные. При этом, температура замерзания сорбционной влаги в мелких порах значительно ниже температуры замерзания свободной воды, находящейся в крупных порах. Поэтому, наибольшее влияние на деструкцию пористого материала при переменном замерзании и оттаивании играет влага, сконденсированная в порах в результате термической конденсации. Понятно, что наиболее интенсивно этот процесс будет идти, если зона конденсации совпадает с зоной резких колебаний температуры.

Влияние комплекса климатических параметров.

Рассмотрим изменение основных климатических характеристик (на примере г. Волгограда) в холодный период года. Одним из важнейших воздействий на долговечность зданий является наружный климат в зимний период, который имеет ярко выраженный знакопеременный характер (рис.3). Воздействие климата на температурно-влажностное состояние поверхностных слоёв конструкций проявляется в большом количестве периодов замораживания и оттаивания, которые разрушают материал, из которого они изготовлены. В ходе исследования климата была произведена оценка его знакопеременности, определены средние отрицательные и средние положительные температуры за три зимних периода с 2012 по 2015 год. На рис.3 представлены среднестатистические результаты обработки климатических параметров по годам и усредненная кривая за три года.

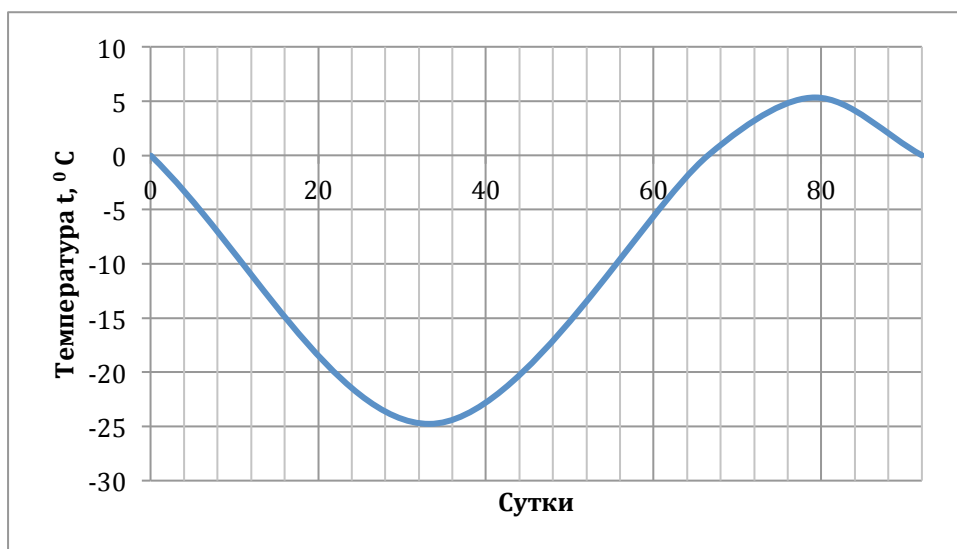


Рис. 3 – Среднестатистическая климатическая активность за холодный период 2012-2015 гг.

По результатам исследования зимнего периода за 2012-2015 гг, отображенные на графике (рис.3), можно сделать вывод, что полученные значения близки или совпадают с аналогичными в СП-131.13330.2012. Существенное расхождение заметно только в количестве циклов замораживания-оттаивания: в СП это значение составляет 33

цикла, а по результатам исследования 21 цикл, что на 36% меньше чем в нормативном документе. Продолжительность отрицательных и положительных температур, минимальная температура наружного воздуха, средняя температура холодного периода, амплитуда колебаний средних температур совпадает со значениями, представленными в СП, что говорит об их достоверности и актуальности. Результаты исследования климатических характеристик по годам и их среднестатистические данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные климатические параметры зимних периодов 2012-2015 гг.

Холодный период года	2012-2013	2013-2014	2014-2015	Средн.зна ч.	Данные СП-131
Продолжительность отрицательной температуры, сут	66	68	68	67,3	66
Продолжительность положительной температуры, сут	26	24	24	24,7	26
Минимальная температура наружного воздуха, °C	-21,8	-29	-25,5	-25,4	-27
Максимальная температура наружного воздуха, °C	4,5	4,4	7,1	5,3	-
Средняя отрицательная температура наружного воздуха, °C	-7,2	-7,9	-6,8	-7,3	-
Средняя положительная температура наружного воздуха, °C	1,2	1,3	1,8	1,4	-
Амплитуда колебания максимальных температур, °C	26,3	33,4	32,6	30,8	-
Количество циклов заморозания-оттаивания в год	17	20	27	21,3	33
Средняя температура холодного периода, °C	-5,7	-6	-5,1	-5,6	-5,9
Амплитуда колебания средних температур холодного периода	6,9	7,3	6,9	7,0	6,56

Стоит отметить, что переход температуры через нулевую отметку ещё не означает, что в конструкции пройдёт цикл заморозания оттаивания. В [22] представлены результаты лабораторных исследований заморозания влаги в порах материалов (рис.4).

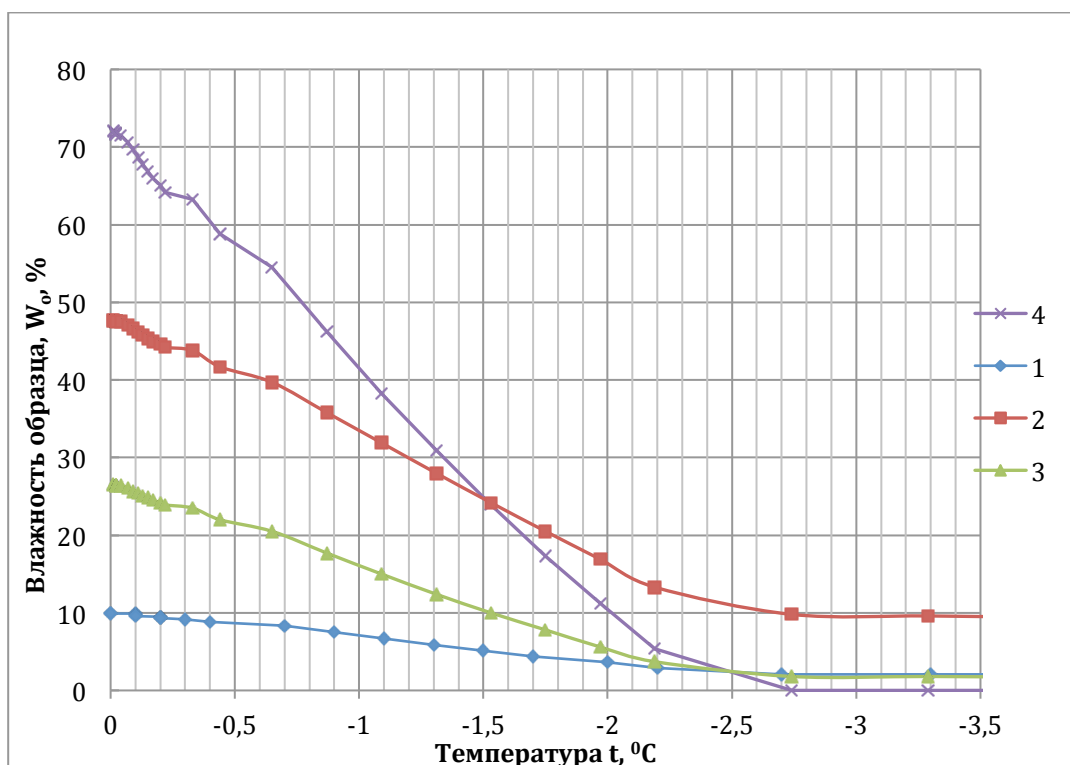


Рис. 4 – График зависимости количества незамёрзшей воды от отрицательной температуры наружного воздуха; 1 – бетон, 2 – керамзитобетон, 3 – силикатный кирпич, 4 – минеральная вата.

Исследования замерзания влаги в материалах для конструкций на рис. 4 говорят о том, что влага в порах материалов замерзает в различных материалах при разной отрицательной температуре.

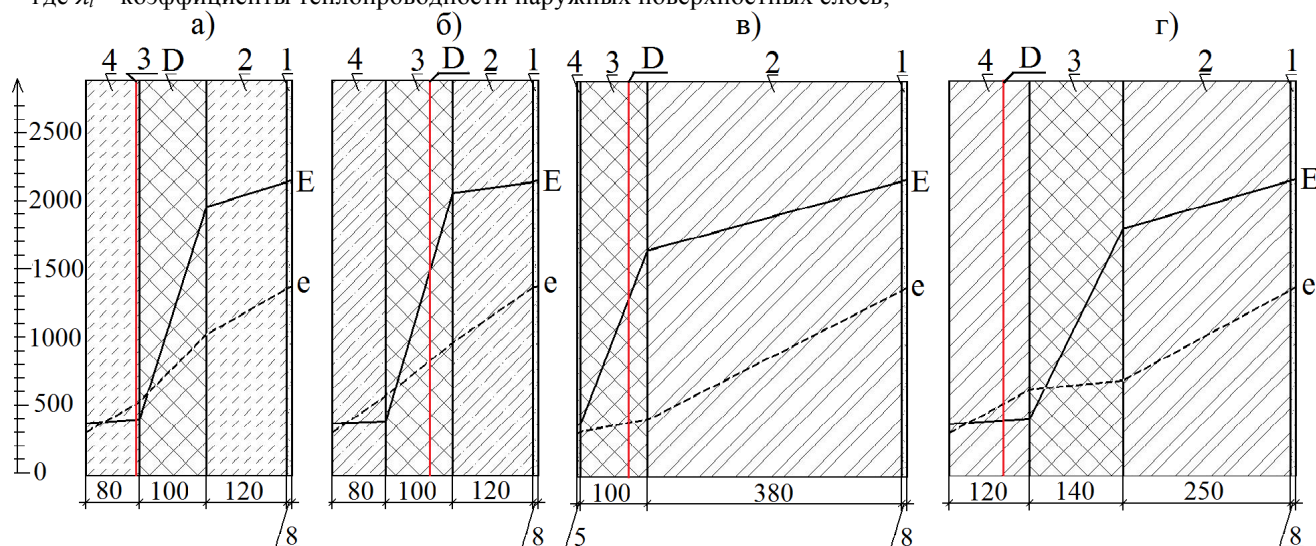
В минеральной вате 100% влаги замерзает только при $-2,74^{\circ}\text{C}$, в бетоне 80% влаги замерзает при $-2,7^{\circ}\text{C}$, в керамзитобетоне 80% замерзает при $-2,74^{\circ}\text{C}$, в силикатном полнотелом кирпиче 93% влаги при $-2,74^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее замерзание влаги в данных строительных материалах происходит крайне медленно и для полного замерзания влаги нужна температура от -30°C до приблизительно -40°C .

Влияние конструктивного решения ограждающих конструкций на их долговечность.

Основным фактором, влияющим на разрушение поверхностных слоев наружных стен в условиях эксплуатации, являются переменные температурно-влажностные воздействия наружной среды в зимний и зимне-весенний интервалы года. В этот период происходит накопление влаги в конструкции за счёт термической конденсации, которое происходит, как правило, в зоне отрицательных температур. Глубина промерзания и оттаивания или, так называемая, зона резких колебаний температуры в конструкции δ_t зависит от тепловой инерционности поверхностных слоёв D и определяется при показателе $D=1,0$ следующим образом

$$\delta_t = \sum (\lambda_i / s_i), \quad (1)$$

где λ_i – коэффициенты теплопроводности наружных поверхностных слоёв;



s_i – коэффициенты теплоусвоения этих слоёв.

Рис.5 - Зоны конденсации и зоны резких колебаний температур в ограждающих конструкциях; а) – 3-х слойная ж/б панель (1 - цементно-песчаный раствор; 2 – железобетон; 3 - минеральная вата; 4 – железобетон), б) – 3-х-слойная к/б панель (1 - цементно-песчаный раствор; 2 – керамзитобетон; 3 - минеральная вата; 4 – керамзитобетон), в) – двухслойная кирпичная стена (1 - цементно-песчаный раствор; 2 – полнотелый силикатный кирпич; 3 - минеральная вата; 4 – цементно-песчаный раствор); г) – трёхслойная кирпичная стена (1 - цементно-песчаный раствор; 2 – полнотелый силикатный кирпич; 3 - минеральная вата; 4 – полнотелый силикатный кирпич)

Таблица 2 – Результаты расчёта зоны конденсации для г. Волгограда

№ слоя	Наименование материала	t	e	E	Наличие конденсации
3-х слойная к/б панель					
1	Ц-п раствор	18.8°C	1366.5Па	2148Па	-
2	Керамзитобетон	17.4°C	1034.5Па	1967Па	-
3	Утеплитель	-5.5°C	535.2Па	409Па	+
4	Керамзитобетон	-6.5°C	313Па	379Па	-
3-х слойная ж-б панель					
1	Ц-п раствор	18.8°C	1379.9Па	2148Па	-
2	Железобетон	18.2°C	973.8Па	2069Па	-
3	Утеплитель	-6.1°C	583Па	391Па	+
4	Железобетон	-6.5°C	313Па	379Па	-
3-х слойная кирпичная стена					
1	Ц-п раствор	18.9°C	1362.8Па	2161Па	-
2	Сил. кирпич	16.1°C	700.8Па	1811Па	-
3	Утеплитель	-5.2°C	633.8Па	418Па	+
4	Сил. Кирпич	-6.5°C	313Па	379Па	-

Окончание табл. 2 – Результаты расчёта зоны конденсации для г. Волгограда

2-х слойная кирпичная стена					
1	Ц-п раствор	18.9°C	1364.4Па	2161Па	-
2	Сил. кирпич	14.7°C	419.8Па	1656Па	-
3	Утеплитель	-6.4°C	329.4Па	382Па	-
4	Ц-п раствор	-6.5°C	313Па	379Па	-

Рассмотрим как влияет конструктивное решение на зоны резких колебаний температур и конденсации на 4-х наиболее распространённых конструкциях (рис. 5).

Анализируя результаты расчётов можно сделать вывод, что зону конденсации при относительной влажности внутреннего воздуха 60% не имеет только двухслойная кирпичная стена с наружным утеплением, следовательно, воздействия на неё циклов замораживания-оттаивания будет минимально. Это позволяет сделать вывод, что данная конструкция наиболее благоприятная и разрушение наружного облицовочного слоя маловероятно[19].

Трёхслойные конструкции имеют зону конденсации, совпадающую с зоной резких колебаний температур. Это говорит о том, что при достаточной конденсации материал будет разрушаться из-за циклов замораживания-оттаивания за счёт естественного расширения воды, что представляет угрозу долговечности облицовочного слоя.

Зона резких колебаний температур в ж/б панели за счёт низкой инерционности железобетона охватывает большую часть утеплителя, что создаёт впечатление о безопасности данной конструкции, так как на внутренней границе практически отсутствует перепад температур через нулевую отметку, однако при этом облицовочный слой подвержен воздействию этих циклов.

Двухслойная кирпичная стена с наружным утеплением не имеет зоны конденсации при относительной влажности внутреннего воздуха 60%, что сводит к минимуму воздействие температурных перепадов.

Трёхслойная керамзитобетонная панель за счёт повышенного сопротивления теплопередачи и инерционности материала увеличивает количество циклов замораживания оттаивания при наличии зоны конденсации по сравнению с количеством циклов перехода через нулевую отметку наружного воздуха, что усугубляет долговечность материала. Следовательно, уменьшение инерционности и повышение сопротивления теплопередаче облицовочного слоя не способствует повышению долговечности, а в некоторых случаях даже ухудшает ситуацию.

Следует отметить, что это при относительной влажности внутреннего воздуха 60%, при меньшей влажности зона конденсации сужается, а её интенсивность уменьшается, что увеличивает срок службы облицовочного слоя, а при увеличении относительной влажности наоборот снижает.

Заключение.

Влагонакопление в ограждающих конструкциях в зимний период имеет прямое отношение к их долговечности только при наличии следующих условий: совпадения в них зоны резких колебаний температур и зоны конденсации, наличие циклов замораживания оттаивания. Более всего этим условия подвержены трёхслойные ограждающие конструкции с эффективным утеплителем в середине. Такие конструкции потребуют капитального ремонта раньше положенного срока их эксплуатации.

Момент наступления цикла замораживания оттаивания не стоит считать состоявшимся только при переходе температуры через нулевую отметку после оттепели, следует отбросить циклы, при которых не замерзает максимальное количество воды в материале при определённой температуре, которая для каждого материала отличается.

Количество циклов замерзания и оттаивания за год можно приближенно принимать по схематической карте распределения среднего за год числа дней с переходом температуры наружного воздуха через ноль (СП 131.13330.2012. Приложение А. Рис. А.3) с учётом особенностей материала, а именно температуры замерзания максимального количества влаги.

Литература

1. Горшков А. С., Ливчак В. И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3(30). С. 7–37.
2. Кнатько М. В., Горшков А. С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий. // Инженерно-строительный журнал. 2008. №2. С. 50-53.
3. Куприянов В. Н., Сафин И. Ш. Паропроницаемость и проектирование ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 385–390.
4. Гринфельд Г. И. Эксплуатационные характеристики автоклавного газобетона марки по средней плотности D400 // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 5(10). С. 28–57.
5. Ватин Н. И., Горшков А. С., Глумов А. В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1(19). С. 28–33.
6. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Ватин Н. И. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 8(52). С. 38–48.
7. Кнатько М. В., Горшков А. С., Рымкевич П. П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с лицевым слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8(10). С. 20–26.
8. Копылова А. И., Ватин Н. И., Пестряков И. И. Экспериментальное сравнение характеристик паропроницаемости основных строительных материалов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 10(25). С. 98–108.

9. Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering / M. Ibrahim, E. Wurtz, P. H. Biwole, P. Achard, H. Sallee // *Energy and Buildings*. 2014. № 84. Pp. 241–251.
10. Moon H. J., Ryu S. H., Kim J. T. The effect of moisture transportation on energy efficiency and IAQ in residential buildings // *Energy and Buildings*. 2014. № 75. Pp. 439–446.
11. Hygrothermal study of lightweight concrete hollow bricks: A new proposed experimentalnumerical method / Del Coz Díaz J. J., Álvarez-Rabanal F. P., Gencel O., García Nieto P. J., Alonso-Martínez M., Navarro-Manso A., Prendes-Gero B. // *Energy and Buildings*. 2014. № 70. Pp. 194–206.
12. Assessment of the actual hygrothermal performance of glass mineral wool insulation applied 25 years ago in masonry cavity walls / F. Stazi, F. Tittarelli, G. Politi, C. Di Perna, P. Munafò // *Energy and Buildings*. 2014. № 68. Part A. Pp. 292–304.
13. Interior insulation for wall retrofitting – A probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks / E. Vereecken, L. Van Gelder, H. Janssen, S. Roels // *Energy and Buildings*. 2015. № 89. Pp. 231–244.
14. Lelievre D., Colinart T., Glouannec P. Hygrothermal behavior of bio-based building materials including hysteresis effects: Experimental and numerical analyses // *Energy and Buildings*. 2014. № 84. Pp. 617–627.
15. Effect of the night ventilation rate on the indoor environment and air-conditioning load while considering wall inner surface moisture transfer / Y. Wang, Y. Liu, D. Wang, J. Liu // *Energy and Buildings*, 2014. № 80. Pp. 366–374.
16. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // *Строительные материалы*. 2008. № 4. С. 56–59.
17. Беляев Н. В., Фурсов В. В. О разнообразии причин образования повреждений несущих ограждающих конструкций. // *Вестник Сиб АДИ*. 2013. №5 (33). С. 45–51.
18. Горшков А. С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 12–17.
19. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Пестряков И. И., Кнатько М. В. Прогнозирование эксплуатационного срока службы стеновой конструкции из газобетона с лицевым слоем из силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 49–53.
20. Кнатько М. В., Горшков А. С., Рымкевич П. П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с лицевым слоем из силикатного кирпича // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 8(10). С. 20–26.
21. Александровский СВ. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: РААСН, 2004. 332 с.
22. Перехоженцев А. Г. Теоретические основы и методы расчёта температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий / Волгоград. ВолгГАСУ. 2008. С. 72–78.

References

1. A. Gorshkov, Livchak VI history, evolution and development of regulatory requirements for protective structures // *Construction of unique buildings and structures*. 2015. number 3 (30). S. 7–37.
2. Knatko MV Gorshkov A. To a question about the durability and efficiency of modern load-bearing wall construction of residential, administrative and industrial buildings. // *Journal of Civil Engineering*. 2008. №2. S. 50–53.
3. Kupriyanov VN, Safin I. Sh Water vapor permeability and design of walling // *Academia. Architecture and Construction*. 2010. № 3. S. 385–390.
4. Greenfield GI Operational characteristics of autoclaved aerated concrete stamps at an average density of D400 // *Construction of unique buildings and structures*. 2013. № 5 (10). S. 28–57.
5. Batting NI Gorshkov A., Glumov AV Influence of physical and technical characteristics of geometric and plaster coatings on the humidity conditions of homogeneous walls of concrete blocks // *Civil Engineering Journal*. 2011. № 1 (19). S. 28–33.
6. A. Gorshkov, Rymkevich PP, Batting NI Modeling of non-stationary processes of heat transfer in the wall structures of concrete blocks // *Inzhenernostroitelny magazine*. Number 2014. 8 (52). S. 38–48.
7. Knatko MV Gorshkov A., Rymkevich PP Laboratory and field studies of durability (service life service) of the wall structure of the autoclaved aerated concrete with a facing layer of silicate bricks // *Civil Engineering Journal*. 2009. № 8 (10). S. 20–26.
8. Kopylova AI, Batting NI, Pestryakov II Experimental comparison of the characteristics of water vapor permeability of basic building materials // *Construction of unique buildings and structures*. Number 2014. 10 (25). S. 98–108.
9. Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering / M. Ibrahim, E. Wurtz, P. H. Biwole, P. Achard, H. Sallee // *Energy and Buildings*. 2014. № 84. Pp. 241–251.
10. Moon H. J., Ryu S. H., Kim J. T. The effect of moisture transportation on energy efficiency and IAQ in residential buildings // *Energy and Buildings*. 2014. № 75. Pp. 439–446.
11. Hygrothermal study of lightweight concrete hollow bricks: A new proposed experimentalnumerical method / Del Coz Díaz JJ, Álvarez-Rabanal FP, Gencel O., García Nieto PJ, Alonso-Martínez M., Navarro-Manso A., Prendes-Gero B. // *Energy and Buildings*. 2014. № 70. Pp. 194–206.
12. Assessment of the actual hygrothermal performance of glass mineral wool insulation applied 25 years ago in masonry cavity walls / F. Stazi, F. Tittarelli, G. Politi, C. Di Perna, P. Munafò // *Energy and Buildings*. 2014. № 68. Part A. Pp. 292–304.
13. Interior insulation for wall retrofitting - A probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks / E. Vereecken, L. Van Gelder, H. Janssen, S. Roels // *Energy and Buildings*. 2015. № 89. Pp. 231–244.
14. Lelievre D., Colinart T., Glouannec P. Hygrothermal behavior of bio-based building materials including hysteresis effects: Experimental and numerical analyses // *Energy and Buildings*. 2014. № 84. Pp. 617–627.
15. Effect of the night ventilation rate on the indoor environment and air-conditioning load while considering wall inner surface moisture transfer / Y. Wang, Y. Liu, D. Wang, J. Liu // *Energy and Buildings*, 2014. № 80 . Pp. 366–374.
16. Lobov OI, AI Ananiev The durability of cladding layers of external walls of multistory buildings with a high level of thermal insulation // *Building materials*. 2008. № 4. S. 56–59.

17. Belyaev NV, Fursov VV variety of causes of damage bearing walling. // Herald Sib ADI. 2013. №5 (33). S. 45-51.
18. Gorshkov A. Assessment of the durability of the wall structure on the basis of laboratory and field tests // Building materials. 2009. № 8. S. 12-17.
19. Gorshkov A., Rymkevich PP, Pestryakov II, Knatko MV Prediction operational lifetime of the wall structure of aerated concrete with the facial layer of silicate bricks // Building materials. 2010. № 9. S. 49-53.
20. Knatko MV Gorshkov A., Rymkevich PP Laboratory and field studies of durability (service life service) of the wall structure of the autoclaved aerated concrete with a facing layer of silicate bricks // Civil Engineering Journal. 2009. № 8 (10). S. 20-26.
21. Alexander ST. The durability of exterior building envelopes. M.: RAASN, 2004. 332 p.
22. Perehozhenstev AG Theoretical bases and methods of calculating the temperature and humidity of building envelopes / Volgograd. VolgGASU. 2008, pp 72-78.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.061

Подлесных А.И.

Аспирант, Московский Государственный Строительный Университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)

О ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Аннотация

Раскрываются основные положения информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям (НДТ) в области цементного производства. Обосновывается необходимость разработки национальных стандартов по НДТ с учетом специфики применяемого оборудования, технологий, сырьевых и топливных ресурсов, экологических и экономико-социальных особенностей Российской Федерации. Делается вывод о том, что для вывода промышленного производства цемента на высокий эколого-экономический уровень необходимо продолжать разработку и внедрение современных технологий.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии (НДТ), цементное производство, охрана окружающей среды.

Podlesnykh A.I.

Postgraduate student, Moscow Civil Engineering University (MGSU)

ABOUT THE PROBLEM OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF NATIONAL STANDARDS ABOUT BEST AVAILABLE TECHNIQUES

Abstract

The main points of the Information Technology Handbook of Best Available Techniques (BAT) in the field of cement production are revealed. The necessity of development of national standards of BAT with consideration of the specifics of the used equipment, technology, raw materials and fuel resources, environmental, economic and social features of the Russian Federation. The conclusion about the necessity of the development and introduction of modern technologies for the rising of the industrial manufacture of cement to a high ecological and economic level is made.

Keywords: Best Available Techniques (BAT), cement production, environmental protection.

Необходимость технологического нормирования предприятий, оказывающих существенное влияние на экономику и экологию нашей страны, активно обсуждается с еще с 90-х годов прошлого века.

Одной из важнейших отраслей промышленности в нашей стране является строительная промышленность в целом, и, в частности, цементное производство, относящееся к числу базовых в комплексе отраслей, производящих строительные материалы.

В России еще двадцать лет назад была принята Концепция перехода к устойчивому развитию, подразумевающая, одним из основных направлений разработку и внедрение экономических механизмов, позволяющих регулировать процессы природопользования и охраны окружающей среды, а также антропогенную хозяйственную деятельность и устанавливать пределы ответственности за ее экологические результаты.

Теоретически функционирование цементного производства в отношении охраны окружающей среды, как и любой другой производственной деятельности, жестко регулируются национальным и международным законодательством. Практически же сложившаяся практика и отсутствие обязательного технологического нормирования предприятий в соответствии с принципом наилучших доступных технологий привели к тому, что стараясь сохранить рентабельность, каждое предприятие или, в лучшем случае, производственный концерн вынуждены сами решать вопросы целесообразности технологического переоснащения.

К сожалению, в нашей стране законодательство в большей степени работает в области штрафов и иных карающих санкций, а также регламентов по исправлению уже нанесенного вреда, нежели в стимулировании создания экологически сообразного производства. Тогда как, в рамках реализации концепции устойчивого развития и перевода промышленного производства на современный эколого-экономический уровень, предполагается постепенно приблизить производственные циклы к замкнутым круговоротам вещества и энергии в природе [1].

Россия имеет огромный природно-ресурсный, промышленный и научный потенциал, способный обеспечить как необходимые объемы собственного потребления и экспорта строительных материалов, так и развитие наукоемких передовых технологий в этой отрасли.

Однако, к сожалению, от принятия стратегии до реального воплощения эффективной системы механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие и стабильное функционирование промышленных мощностей, выдающих необходимые объемы готовой продукции и не наносящих при этом ущерба окружающей среде, может пройти еще очень много времени.

Первым шагом на пути решения этой задачи стало создание технического комитета по стандартизации ТК 409 «Охрана окружающей природной среды» приказом Росстандарта от 24 июня 2011 года № 3004 и по инициативе Минприроды России.

Результатом работы технического комитета по стандартизации стало создание информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям в области цементного производства ИТС 6-2015 [2], утвержденного для добровольного применения в РФ с 1 июля 2016 года. В его основу легли положения Директивы Европейского совета 2010/75 EU [3] и справочные документы по наилучшим доступным технологиям (НДТ) в области цементного производства Европейского союза, переработанные с учетом применяемого оборудования, технологий, сырьевых и топливных ресурсов, экологических и экономико-социальных особенностей Российской Федерации.

Производство цемента, в соответствии с положениями Федерального закона №7 «Об охране окружающей среды» в редакции от 24 ноября 2014 года, отнесено к областям применения наилучших доступных технологий (НДТ). С практической точки зрения, одним из основных положений, указанных в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям в области цементного производства, является создание системы выдачи разрешения на осуществление хозяйственной деятельности для определенных категорий промышленных объектов, требующих и от субъектов хозяйственной деятельности, и от контролирующих органов реализации комплексного подхода к оценке загрязнения, связанного с этой деятельностью, и характера потребления сырья и материалов. Общая цель такого комплексного подхода должна заключаться в совершенствовании регулирования и контроля производственных процессов с целью обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды. Самым важным в этом подходе является общий принцип, состоящий в том, что хозяйствующие субъекты должны осуществлять все необходимые предупредительные меры, направленные на предотвращение загрязнения окружающей среды, в частности, посредством внедрения наилучших доступных технологий, которые дают возможность обеспечить выполнение экологических требований [2, 3].

Под «наилучшими доступными технологиями» подразумеваются «наиболее эффективные новейшие разработки для различных видов деятельности, процессов и способов функционирования, которые свидетельствуют о практической целесообразности использования конкретных технологий в качестве базы для установления разрешений на выбросы/сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду и размещение отходов с целью предотвращения загрязнения, или, когда предотвращение практически невозможно, минимизации выбросов/сбросов в окружающую среду в целом» [2].

Согласно принятым принципам наилучших доступных технологий (НДТ) в цементной промышленности, важнейшими критериями соответствия производства является снижение атмосферных эмиссий, рациональность применения сырьевых и топливных ресурсов, минимизация, сбор и повторное использование производственных отходов, а также эффективные системы охраны окружающей среды и энергосбережения.

Вышеприведенные критерии относятся к различным технологиям, интегрированным в технологический процесс, и технологическим процессам в целом, используемым в цементной промышленности. Справочник по наилучшим доступным технологиям (НДТ) в области цементного производства включает также перечень и описание современных технологий, находящихся как на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, так и успешно прошедших апробацию на действующих предприятиях. Технологии, включенные в настоящий документ, позволяют потенциально достигнуть или содействовать высокому уровню защиты окружающей среды.

Технологии подготовки сырьевых смесей и обжига с целью получения цементного клинкера, применяемые на сегодняшний день, относятся, преимущественно, к одному из четырех способов производства: мокрому, сухому, полусухому или комбинированному. Каждый способ имеет технологические особенности и различия в количестве потребления энергетических и сырьевых ресурсов. В связи с высокими непроизводительными затратами, при работе по мокрому способу, цементная промышленность во всем мире стремится переоснастить производственные линии на сухой способ, отличающийся более высокой производительностью при меньших энергозатратах [4]. Однако полное переоснащение производственной линии предприятия требует колоссальных финансовых затрат. В условиях сложной экономической ситуации в России альтернативой может являться переход на комбинированный способ, подразумевающий использование имеющегося оборудования для приготовления шлама, и требующий только частичной модернизации печного оборудования. Выбор конкретной технологии производства должен осуществляться в соответствии с принципами наилучших доступных технологий в области цементного производства. Например, применение СВЧ-технологий воздействия на сырьевой материал позволяет более половины содержащейся в шламе воды удалять за счет быстрого испарения, а также, за счет быстрого подъема температуры до необходимого уровня, сократить время необходимое для прохождения реакции клинкерообразования. Таким образом, применение подобных современных технологий позволит снизить как затраты на технологическое переоснащение производственной линии, так и энергозатраты при самом производстве.

Это позволяет утверждать, что для того, чтобы вывести промышленное производство на высокий эколого-экономический уровень необходимо продолжать разработку и внедрение современных технологий.

Выводы

Резюмируя все вышесказанное, можно утверждать, что передовой опыт Европейского сообщества по части разработки и внедрения справочников по наилучшим доступным технологиям (НДТ), а так же сопутствующей документации, может быть полезен при создании в России своих подобных документов, однако не может быть экстраполирован в неизменном виде. Национальные стандарты по наилучшим доступным технологиям (НДТ) в области цементного производства нуждаются в дальнейшей доработке и дополнении.

Кроме того, необходимо сделать упор на разработку и принятие документов нормирующих технологические требования к предприятию цементной промышленности не в добровольном, а в обязательном порядке. А, управление процессами реализации принципов наилучших доступных технологий (НДТ) в области цементного производства должно осуществляться с учетом всех факторов, включая специфику текущей экологической и экономической ситуации в России.

Литература

1. Фокина З.Т., Подлесных А.И. Синергетический подход к экологизации цементного производства // Вестник МГСУ. – 2015. – № 11/2015 – С. 130-141.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (НДТ). Производство цемента [Электронный ресурс] URL: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/developdirector/directory2015/part6 (дата обращения 25.11.2015).
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and the Council on industrial emissions [Электронный ресурс] URL: <http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm> (дата обращения 25.11.2015).
4. Подлесных А.И. О целесообразности применения комбинированных СВЧ технологий для экологизации производства цементного клинкера // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 10 (41), ч. 2. – С. 97-98.

References

1. Fokina Z.T., Podlesnyh A.I. Sinergeticheskij podhod k jekologizacii cementnogo proizvodstva // Vestnik MGSU. 2015, № 11/2015, pp. 130-141.
2. Informacionno-tehnicheskij spravocnik po nailuchshim dostupnym tehnologijam (NDT). Proizvodstvo cementa. [Elektronnyj resurs] URL: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/developdirector/directory2015/part6 (data obrashhenija 25.11.2015).
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and the Council on industrial emissions [Elektronnyj resurs] URL: <http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm> (data obrashhenija 25.11.2015).
4. Podlesnyh A.I. O celesoobraznosti primenenija kombinirovannyh SVCh tehnologij dlja jekologizacii proizvodstva cementnogo klinkera // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2015. – № 10 (41), part. 2, P. 97-98.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.093

Почеревин А.В.¹, Светлов С.А.²

¹Аспирант, ²Доктор технических наук, профессор, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ НА ОДНОРОДНОСТЬ ПРИГОТАВЛИВАЕМЫХ СМЕСЕЙ В ПЛАНЕТАРНОМ СМЕСИТЕЛЕ

Аннотация

Данная статья посвящена изучению влияния некоторых параметров процесса смешивания на качество приготавливаемых смесей, а именно рассматривалось влияние времени смешивания, скорости вращения перемешивающих устройств, концентрации ключевого компонента. Даны рекомендации для более эффективного проведения процесса смешивания компонентов.

Ключевые слова: планетарный смеситель; смесь; параметры процесса смешивания.

Pocherevin A.V.¹, Svetlov S.A.²

¹Postgraduate student, ²PhD in Engineering, professor, Biysk Technological Institute, Branch of Polzunov Altai State Technical University

RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF PROCESS OF MIXING ON UNIFORMITY OF THE PREPARED MIXES IN THE PLANETARY MIXER

Abstract

This article is devoted to studying of influence of some parameters of process of mixing on quality of the prepared mixes, namely influence of time of mixing, speed of rotation of the mixing devices, extents of loading of the camera of mixture, concentration of a key component was considered. Recommendations for more effective carrying out process of mixing of components are made.

Keywords: planetary mixer; mix; mixing process parameters.

Смешивание является начальной стадией в технологии изготовления изделий и оказывает определяющее влияние на качественные показатели любого из них. Смешивание – физический процесс, уменьшающий композиционную неоднородность, важная стадия в переработке различных веществ, так как механические, физические и химические свойства, а также внешний вид изделий существенно зависят от композиционной однородности. Основная цель процесса смешивания – получение однородной смеси из различных компонентов и равномерное их распределение по рабочему объёму смесителя. К процессу смешивания предъявляются следующие основные требования: равномерное распределение исходных материалов между собой, предупреждение образования комков и пустот в смеси. При этом смешивание достигается только принудительным воздействием на компоненты.

Процесс смешивания зависит от многих факторов. Их условно можно разделить на три группы:

- факторы получаемых смесей (величина коэффициента трения между частицами, физические свойства материалов, удельные веса компонентов, количественное соотношение компонентов);
- факторы смесителя (скорость перемещения рабочих органов смесителя, направление воздействия рабочих органов, конструкция смесителя и его рабочего органа, степень заполнения смесителя);
- факторы процессов смешивания (время смешивания, способ смешивания, режимы и технологические параметры процесса).

Ввиду того, что результатом всех воздействий является изменение соотношения между компонентами, распределение концентраций в объеме смеси (однородность смеси) должно являться для отдельных моментов процесса варьируемой величиной, принимающей то или иное значение с определенной степенью вероятности. Процесс при этом идет от первоначального беспорядочного распределения компонентов к упорядоченному [1].

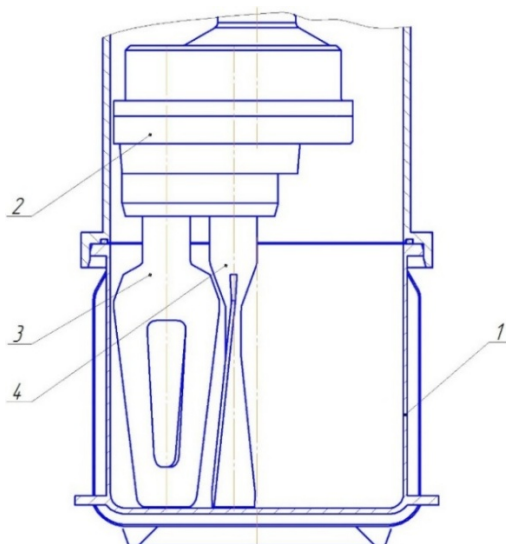
Контроль качества процессов смешивания может вестись по ключевому компоненту, т.е. равномерности распределения одного из компонентов в условно принятой двухкомпонентной системе. Классическим способом контроля распределения частиц компонентов в смеси является предложенный А. М. Ластовцевым метод определения коэффициента неоднородности по одному ключевому компоненту [2]:

$$V_c = \frac{100}{C_0} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_0)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где C_0 - концентрация по массе компонента при идеальном его распределении; C_i - отдельные значения концентрации по массе одного из компонентов в пробах; n - число взятых проб.

Для контроля качества процессов получения смесей необходим отбор мгновенных проб, т. е. проб характеризующих состояние смеси во времени. Пробы отбираются по всему объему смесителя из камеры смешивания. Коэффициент неоднородности V_c определяется по компоненту с наименьшим общим весом. Большое количество проб обеспечивает достаточно точные результаты. При хорошем смешивании $V_c < 10\%$, при идеальном $V_c = 0\%$.

Для проведения экспериментов по исследованию влияния параметров процесса смешивания на однородностьготавливаемых смесей был использован планетарный смеситель с двумя перемешивающими устройствами, схема камеры смешивания которого показана на рисунке 1.



1 – корпус с теплообменной рубашкой; 2 – планетарный редуктор; 3 – быстроходная мешалка; 4 – тихоходная мешалка

Рис. 1 – Схема камеры смешивания двухлопастного планетарного смесителя

В этом смесителе перемешивающие устройства вращаются с разной скоростью в противоположных направлениях, при этом обе мешалки, вместе с редуктором совершают вращательное движение относительно камеры смешивания, постепенно перемешивая весь объем смеси.

Эксперименты проводились на смеси, которая условно считается трехкомпонентной. Смесь состоит из воды, наполнителя (фракция $+0,063$ мм) и дисперсной фазы в качестве ключевого компонента (фракция $-0,063$ мм). Для контроля качества процессов смешивания необходим отбор единовременных проб через определенные интервалы времени, т. е. проб характеризующих состояние смеси во времени. Пробы отбирались по всему объему смеси из камеры смешивания, в разных точках при помощи специального пробоотборника, который позволяет отбирать пробы с точно определенной массой. Далее увлажненные пробы взвешивались, затем из них удалялась влага путем сушки, высушенные пробы опять взвешивались, и тем самым по разности масс увлажненной и высушенной пробы определялась масса воды. Затем высушенные пробы подвергались дисперсно-массовому анализу. Дисперсно-массовый анализ состоял в том, что каждая проба разделялась на фракции с помощью просеивания на ситах с известным размером ячеек, а фракции взвешивались на аналитических весах с точностью 0,5 миллиграмма. По полученным результатам измерения масс компонентов определяется их концентрация, показывающая отношение массы компонента в пробе к массе всей пробы, и, соответственно, коэффициент неоднородности V_c по формуле 1.

На рисунке 2 показано изменение концентрации компонентов во времени. Как видно из полученных зависимостей, по истечении 160 – 180 секунд, происходит выравнивание концентраций компонентов около некоего среднего значения, что соответствует окончанию процесса смешивания.

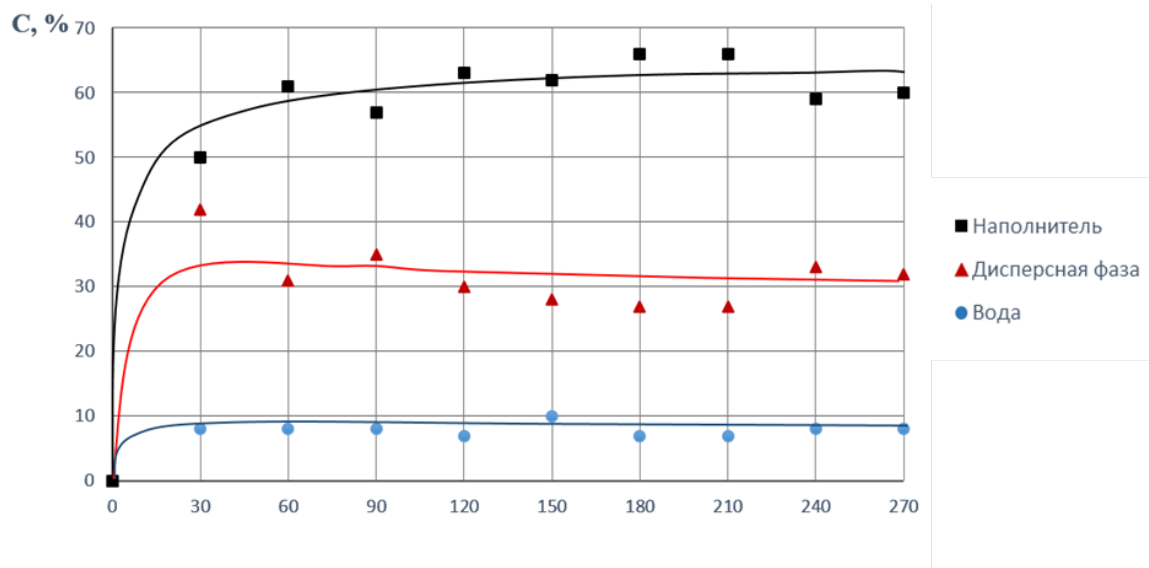


Рис. 2 – Зависимости концентрации компонентов от времени смешивания

На рисунке 3 показана зависимость коэффициента неоднородности для ключевого компонента от времени смешивания при разных скоростях вращения перемешивающих устройств. Повышение скорости вращения перемешивающих устройств приводит к снижению коэффициента неоднородности, т.е. позволяет повысить качество приготавливаемой смеси, однако это наблюдается до определенного момента, дальнейшее повышение скорости вращения не приведет к каким-либо существенным изменениям коэффициента неоднородности, также возникает проблема с допустимой мощностью затрачиваемой на перемешивание, которая ограничена мощностью используемого приводного механизма.

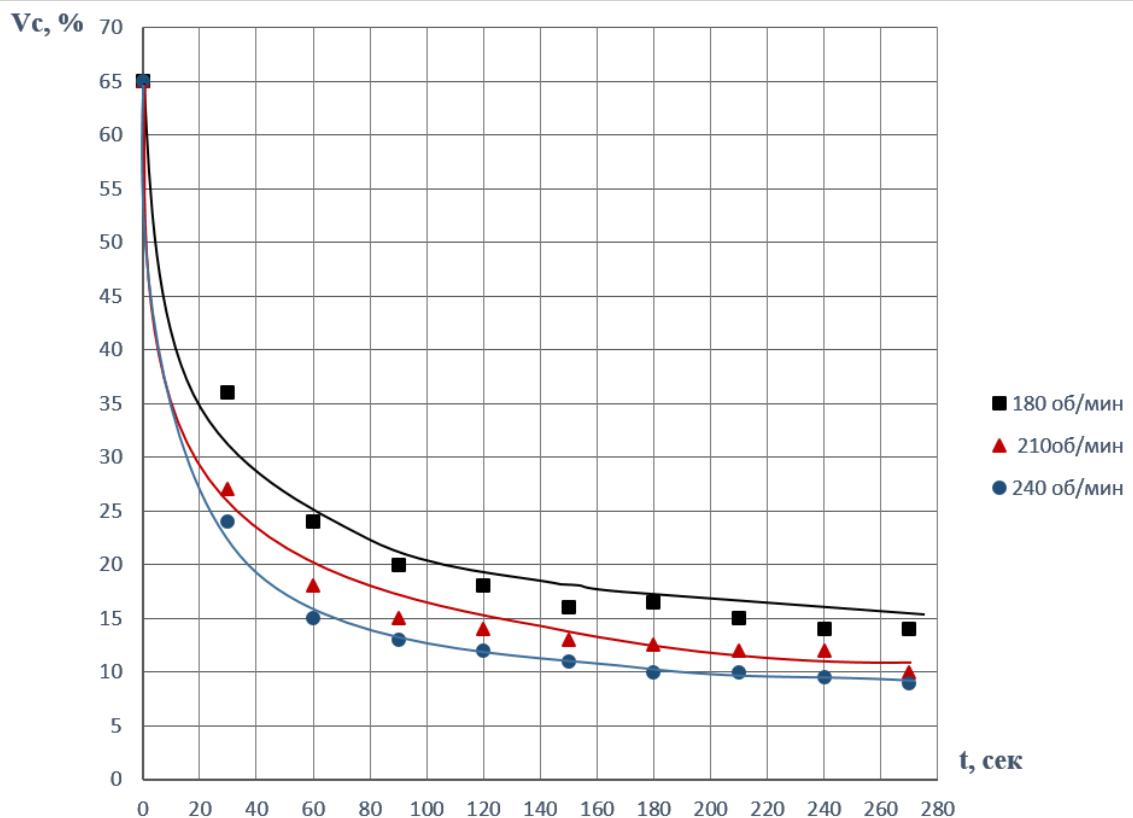


Рис. 3 – Зависимость коэффициента неоднородности ключевого компонента от времени смешивания при разных скоростях вращения перемешивающих устройств

На рисунке 4 представлена зависимость коэффициента неоднородности от концентрации ключевого компонента. Как видно, чем выше концентрация ключевого компонента, тем меньше коэффициент неоднородности смеси. Это можно объяснить с точки зрения вероятностного подхода, т.е. чем больше частиц ключевого компонента в смеси, тем выше вероятность, что эти частицы окажутся в каждой взятой для анализа пробе. Но содержание ключевого компонента ограничено требуемой рецептурой состава для производственного процесса.

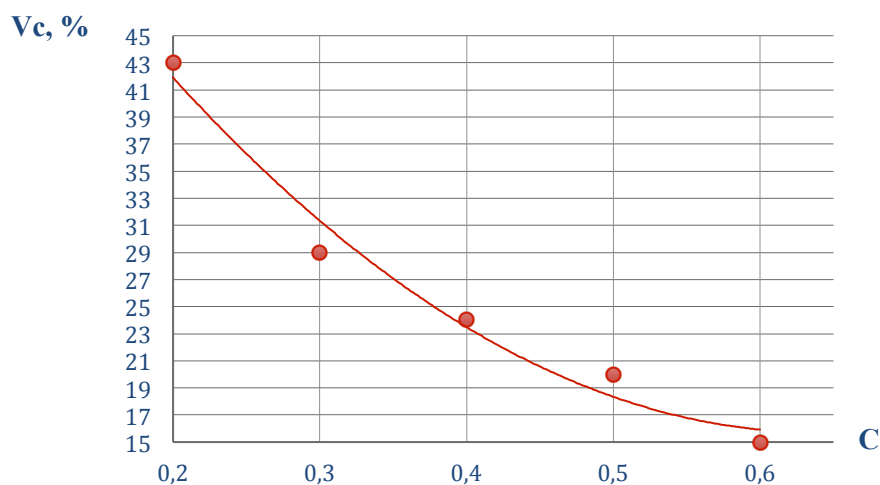
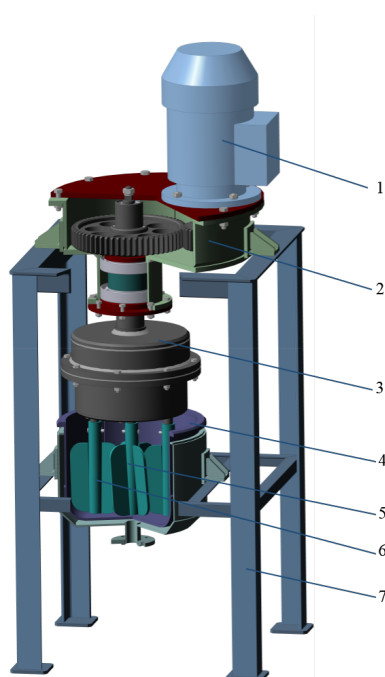


Рис. 4 – Зависимость коэффициента неоднородности от концентрации ключевого компонента

Полученные результаты показывают, что планетарный смеситель с двумя перемешивающими устройствами, является недостаточно эффективным с точки зрения качества получаемых смесей. Минимальные коэффициенты неоднородности достигаются только при значительном повышении скорости вращения перемешивающих устройств (до 240 об/мин), и при высокой концентрации ключевого компонента в смеси, в противном случае получаются смеси низкого качества ($V_c > 10\%$).

Для повышения эффективности процесса смешивания сыпучих материалов с жидкими средами, был разработан лабораторный планетарный смеситель [3], схема которого показана на рисунке 4. Корпус камеры смешивания 4 оборудован теплообменной рубашкой, в которую подаётся теплоноситель для проведения процесса при нагревании смеси. Планетарный редуктор 3 предназначен для передачи вращения от привода 1 к мешалкам 5, 6 и кругового перемещения мешалок вокруг оси камеры смешивания. Использование в смесителе перемешивающего устройства, состоящего из вращающихся навстречу друг другу центральной и периферийных мешалок, траектории лопастей которых перекрываются, совершающих вращательное круговое движение относительно камеры и корпуса, позволяет обеспечить интенсивное перемешивание компонентов смеси и исключить образование застойных зон в рабочем объеме камеры смешивания.



1 – электродвигатель; 2 – опорный корпус привода; 3 – редуктор; 4 – камера смешения; 5 – тихоходная мешалка
6 – быстроходная мешалка; 7 – рама

Рис. 5 – Схема планетарного лопастного смесителя

Вращение периферийных мешалок с большей скоростью, по сравнению с центральной мешалкой, способствует лучшему перераспределению компонентов в объеме смеси и значительно уменьшает действие центробежной силы на частицы смешиваемых компонентов в центральной части емкости, исключая их перемещение к стенкам камеры смешивания. Изменяя форму лопасти мешалок, можно создать оптимальные условия смешивания компонентов смеси за счет создания значительных сдвиговых деформаций в зазоре между лопастями мешалок. Особенность конструкции заключается в использовании одного приводного механизма для вращения мешалок относительно своих осей и редуктора вместе с мешалками относительно оси камеры смешивания. Двигатель 1 размещается на опорном корпусе привода 2, который закрепляется на раме 7.

В ходе исследования процесса смешивания сыпучих материалов с жидкой средой в двухлопастном смесителе планетарного типа, было рассмотрено влияние времени смешивания, скорости вращения перемешивающих устройств, концентрации ключевого компонента на однородность получаемых смесей. Выяснилось, что повышение скорости вращения рабочих органов как и концентрации ключевого компонента, в целом приводит к снижению коэффициента неоднородности смеси. Однако смеси получаемые в таком смесителе, все-таки являются недостаточно однородными, и основной причиной этого, является недостаточно эффективная работа смесителя. Поэтому для решения этой проблемы, была предложена новая конструкция планетарного смесителя.

Литература

1. Лукасик, В.А., Давыдова, В.Н., Петрюк, И.П. Полимерные композиции. Оборудование и технологии изготовления: учебное пособие / Волг. ГТУ, Волгоград, 2003. – 48 с.
2. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
3. Планетарный лопастной смеситель: патент № 2527237 Российская Федерация: МПК В01F 7/18, В01F 7/30 / Светлов С.А., Светлова О.Р., Левина Н.С., Почеревин А.В.; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 2013110895/05; заявка 12.03.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24. – 7 с.

References

1. Lukasik, V.A., Davydova, V.N., Petryuk, I.P. Polimernye kompozicii. Oborudovanie i tehnologii izgotovlenija: uchebnoe posobie / Volg. GTU, Volgograd, 2003. – 48 s.
2. Makarov, Ju.I. Apparaty dlja smeshenija sypuchih materialov / Ju.I. Makarov. – M.: Mashinostroyeniye, 1973. – 216 s.
3. Planetarnyj lopastnoj smesitel': patent № 2527237 Rossijskaja Federacija: MPK V01F 7/18, V01F 7/30 / Svetlov S.A., Svetlova O.R., Levina N.S., Pocherevin A.V.; zayavitel' i patentoobladatel': FGBOU VPO «Altajskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. I.I. Polzunova». – 2013110895/05; zayavka 12.03.2013; opubl. 27.08.2014, Bjul. № 24. – 7 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.080

Пыкин А.А.¹, Постникова О.А.², Солодухина М.Ю.³, Ефремочкин Р.А.⁴

¹ORCID: 0000-0003-1369-4884, Кандидат технических наук, ²аспирант, ³магистрант, ⁴студент,
Брянский государственный инженерно-технологический университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОБАВКИ НАНОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА В КАЧЕСТВЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА

Аннотация

Рассмотрена фотокаталитическая активность добавки, нанодисперсного диоксида титана в качестве фотокаталитического покрытия на поверхности бетона. Выявлены оптимальные параметры ультразвукового диспергирования нанодисперсной добавки в водной среде нафталинформальдегидного типа при частоте ультразвука 35 кГц, в течение 10 минут, способствуют получению наночастиц с минимальным размером 23 нм, максимальным – 1264 нм, средний диаметр равняется 194 нм. Получены зависимости изменения интенсивности окраски органических пигментов от времени воздействия ультрафиолетового облучения. Установлено изменение структуры фотокаталитического покрытия на поверхности бетона.

Ключевые слова: добавка, нанодисперсный диоксид титана, фотокаталитические свойства, бетон.

Pykin A.A.¹, Postnikova O.A.², Soloduhina M.U.³, Efremochkin R.A.⁴

¹ORCID: 0000-0003-1369-4884, Candidate of Technical Sciences, ²graduate, ³undergraduate, student,
Bryansk state engineering-technological University

THE EFFECT OF NANOSIZED ADDITIVES OF TITANIUM DIOXIDE AS A PHOTOCATALYTIC COATING ON THE SURFACE OF THE CONCRETE

Abstract

Considered photocatalytic activity of nanosized additives of titanium dioxide as a photocatalytic coating on the surface of the concrete. The obtained dependences of the change in the color intensity of organic pigments to the time of exposure to ultraviolet radiation. The change in the structure of the photocatalytic on the surface of the concrete.

Keywords: additive, nanosized titanium dioxide, photocatalytic properties, concrete.

Загрязнению фасадов зданий в значительной мере способствуют летучие органические соединения, адсорбирующиеся на строительных материалах и являющиеся субстратом для минеральных аэрозолей (пыли). Именно продукты осаждения последних на поверхностях, покрытых органическими веществами, составляют основу загрязнения зданий и сооружений.

В настоящее время индустрия строительных материалов широко применяет ультрадисперсные и наноструктурирующие добавки, органического и минерального происхождения для улучшения качества производимой продукции [1-7]. В последнее время практический интерес представляют исследования модификации строительных композитов наноразмерными частицами диоксида титана, а также возможность их использования в качестве активных фотокатализаторов, позволяющих под действием ультрафиолетового излучения удалить вредные компоненты окружающей среды [8-10].

Известно, что диоксид титана применяют в промышленных целях в трех распространенных модификациях: анатаз, рутил, брукит. Брукит представляет собой форму диоксида титана более сложную, но наименее плотную и в основном не применяется в областях научных изысканий. Высокую фотокаталитическую активность частицы TiO_2 проявляют в кристаллической структуре - анатаз [11-13].

Нанодисперсный диоксид титана неустойчив в дисперсионной среде и стремятся к самопроизвольному укрупнению. Причины агрегации и агломерации могут состоять, во-первых, в наличии локальных поверхностных зарядов разного знака у соприкасающихся частиц; во-вторых, в близком соответствии дефектов поверхностной сталкивающихся частиц (например, если одна частица содержит впадину, а другая такую же по размеру выемку) или в сходной ориентации граней соприкасающихся частиц, в-третьих, в существовании химического взаимодействия между атомами и молекулами, расположенными на поверхностях соприкасающихся частиц. Поэтому для стабилизации нанодисперсного диоксида титана в водной среде исследовались различные модификаторы [14-16].

Анализ литературных и патентных источников показал эффективность ультразвукового диспергирования минеральных компонентов в водной среде ПАВ для создания устойчивых дисперсий [17-18].

Для оценки фотокаталитической активности по методике [11], поверхность бетона методом набрызга покрывали добавкой полученной ультразвуковым диспергированием анатазного TiO_2 в водной среде стабилизатора нафталинформальдегидного типа.

В процессе изучения гистограмм распределения наночастиц диоксида титана в водной среде с нафталиформальдегидным веществом выявлено, что ультразвуковая кавитация выполняемая в течение 10 мин способствует измельчению частиц твердой фазы, средний диаметр которых составляет 193,6 нм в диапазоне от 23,24 до 1264 нм с полидисперсностью 36 % (Рис. 1).

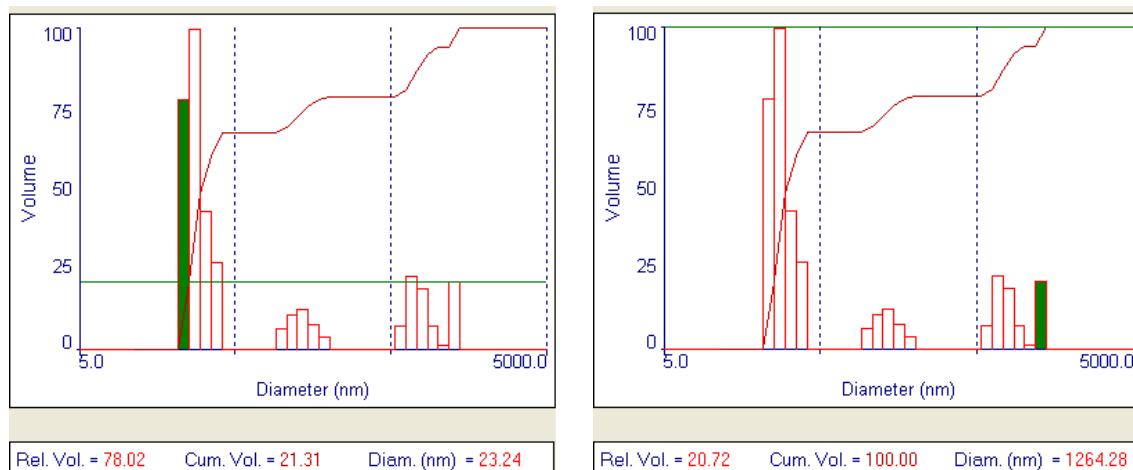


Рис. 1 – Распределение по размерам частиц диоксида титана в водной среде после ультразвукового диспергирования в течение 10 мин с нафталинформальдегидным веществом

Для точного анализа фотодеградации исследовалось изменение концентрации красителей после воздействия ультрафиолетового излучения, наносимых на инертную поверхность, в качестве которой применяли стеклянные пластины, без применения частиц диоксида титана.

Изменения концентрации красящих пигментов на инертной подложке определяли методом сравнения оптических плотностей эталонного и исследуемого растворов.

Анализ данных установил, что красители устойчивы к действию ультрафиолетового излучения. Незначительные отклонения в меньшую сторону органических пигментов кристаллического фиолетового и конго красного говорят о неполном смывании с поверхности стеклянной пластины.

Таблица 1 – Значение оптической плотности красителей на инертной подложке

Показатель	Концентрация, %	Значение оптической плотности			
		Родамин В	Кристаллический фиолетовый	Метиле-новый синий	Конго красный
Эталонный раствор	50	0,186	0,239	0,328	0,212
Раствор после УФ света		0,186	0,238	0,328	0,210

После высушивания на подготовленную поверхность наносили следующие органические пигменты: метиловый красный, кристаллический фиолетовый, метиленовый синий, а также автомобильную пыль с концентрацией твердой фазы 50 г/л. Образцы подвергали воздействию ультрафиолетового (УФ) излучения в течение 60 мин с фиксированием изменений интенсивности окраски через каждые 5 мин.

Как показали визуальные наблюдения, деструкция различных органических красителей существенно отличается в течение времени. Установлено, что разрушение метиленового синего происходит интенсивнее вплоть до его исчезновения по сравнению с метиленовым красным через 60 минут экспозиции. Это подтверждает тот факт, что метиленовый красный является наиболее стабильным и трудно поддающимся к окислению пигментом.

Изменения концентрации красящего вещества на поверхности нанодисперсного диоксида титана после воздействия ультрафиолетового облучения подтверждено экспериментально методом сравнения оптических плотностей эталонного и исследуемого растворов. Эталонный раствор метиленового синего готовили с концентрацией равной 50 г/л и наносили на стеклянные подложки в количестве 1 мл, одна из которых, предварительно была покрыта добавкой с наночастицами TiO_2 . Оптическую плотность определяли при длине волны равной 648 нм, установленную экспериментально, после экспонирования в течение 220 мин. Стеклянные пластины промывали 100 мл дистиллированной воды до полного вымывания красителя. Оптическую плотность определяли на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ.

Анализ математической обработки данных подтверждает изменения интенсивности окраски с течением времени действия ультрафиолетового света на поверхности вододисперсионной краски (Рис.2).

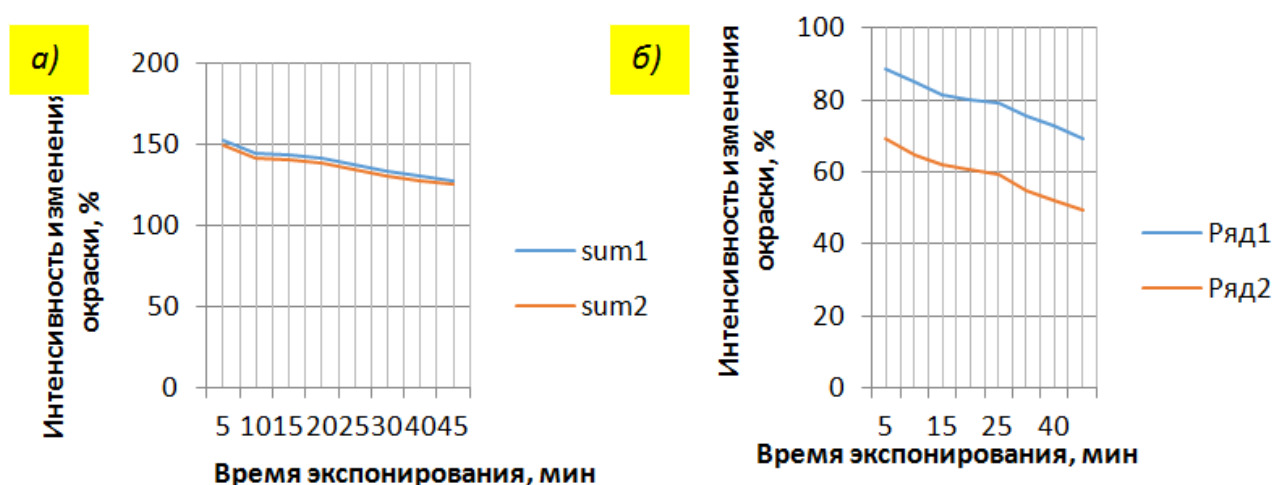


Рис. 2 – Графики зависимости интенсивности окраски от времени:
а) красителя «Конго красный», б) красителя «Кристаллический фиолетовый»

Изменение оптической плотности покрытия от 0,328 до 0,093 (в 3,5 раза) свидетельствует о снижении концентрации органического пигмента на подложке добавки нанодисперсного диоксида титана, подтверждая интенсивность прохождения фотокаталитической реакции за счет высокой окислительной способности среды, образовавшейся на поверхности частиц TiO_2 под действием УФ света.

Микроструктура нанопокртия характеризуется монолитной, бездефектной поверхностью, равномерно распределенной на субстрате композиционного материала (Рис. 3). Четко прослеживается контактная зона между поверхностью материала и покрытием, размерность которого составляет 81 мкм.

При анализе микроструктуры красящих пигментов до и после ультрафиолетового экспонирования, обращает на себя внимание нарушение целостности покрытия, характерного для Кристаллического фиолетового и Метиленового синего (Рис. 4).

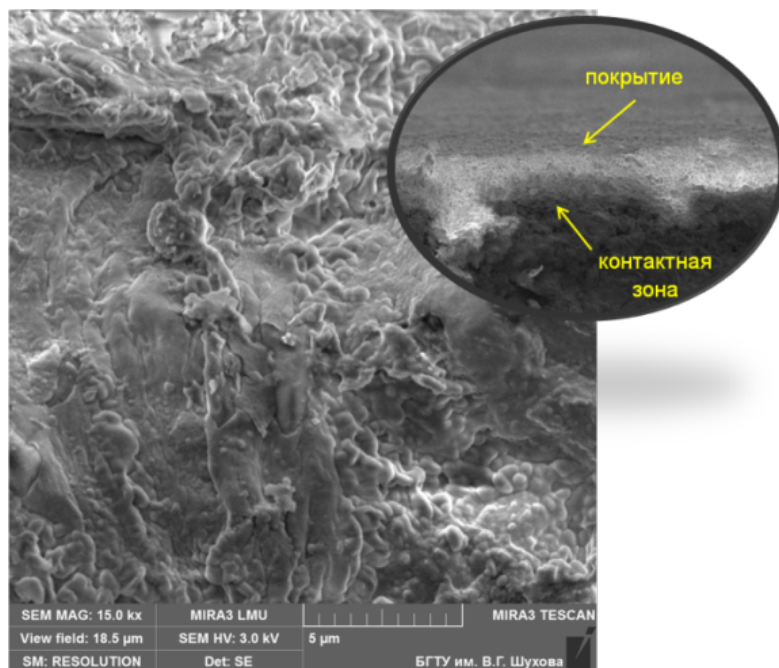


Рис. 3 – Микроструктура нанопокрyтия на основе добавки нанодисперсного диоксида титана

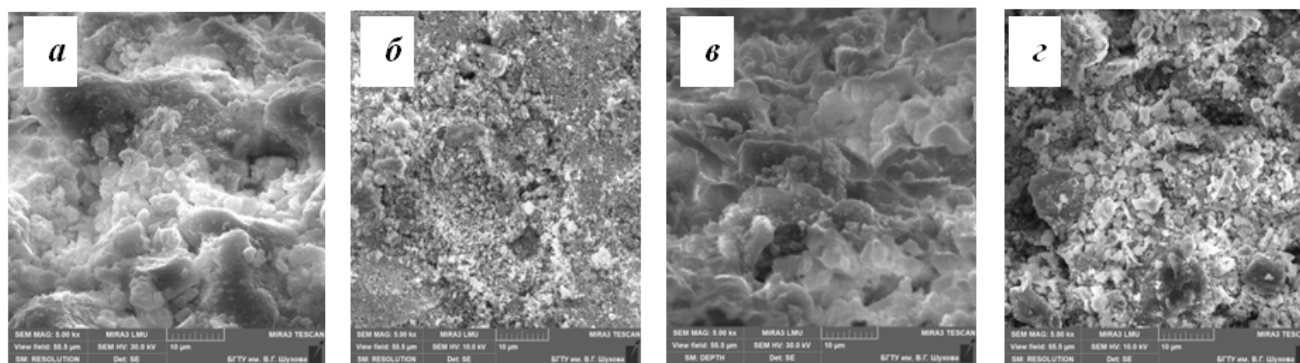


Рис. 4 – Микроструктура Кристаллического фиолетового и Метиленового синего до УФ (а, в) и после (б, г)

Таким образом, выполненные исследования показали эффективность использования добавки нанодисперсного диоксида титана в структурной форме анатаза, получаемой ультразвуковым диспергированием пигментного порошка в водной среде олеата натрия, в качестве фотокаталитического покрытия на поверхности бетона, обеспечивая его высокую фотокаталитическую способность.

Литература

1. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Чудакова О.А. Модифицирование мелкозернистого бетона микро- и наноразмерными частицами шунгита и диоксида титана // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. - № 2. - С. 66-70.
2. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Ширко С.В., Мацаенко А.А. Техничко-экологическое обоснование получения наномодификатора для бетона // Строительство и реконструкция. 2012. - № 3. - С. 42-47.
3. Патент РФ 108033. Энергоэффективная технологическая линия производства нанодисперсной добавки для бетонов / Н.П. Лукутцова, С.А. Ахременко, Е.В. Дегтярев, А.А. Пыкин; Заявл. 07.04.2011; Оpubл. 10.09.2011.
4. Патент РФ 2500634. Способ изготовления комплексной нанодисперсной добавки для бетонной смеси / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин; Заявл. 27.03.2012; Оpubл. 10.12.2013.
5. Патент РФ 2563264. Способ изготовления комплексной нанодисперсной добавки для высокопрочного бетона / Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Суглобов А.В.; Заявл. 30.07.2014. Оpubл. 20.09.2015.
6. Лукутцова Н.П., Устинов А.Г., Гребенченко И.Ю. Новый вид модификатора структуры бетона – добавка на основе биосилифицированных нанотрубок // Строительные материалы. 2015. - № 11. - С. 17-19.
7. Пустовгар А.П., Лукутцова Н.П., Устинов А.Г. Изучение свойств мелкозернистого бетона модифицированного нанодисперсной добавкой серпентинита // Вестник МГСУ. 2013. - № 3. - С. 155-162.
8. Linsebigler A. L., Lu G., Yates J. T. Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results // Chemical Reviews. 1995. - V.95. - P. 735-758.
9. Tanaka K., Mario F.V. Capule, Hisanaga T. Effect of crystallinity of TiO₂ on its photocatalytic action // Chemical Physics Letters. 1991. - V.187. №1. - P. 73-76.
10. Munuera G., Gonzalez-Elipе A.R., Rives-Arnau V., Navio A., Malet P., Sokia J., Conesa J.C., Sanz J. Photo-adsorption of oxygen on acid and basic TiO₂ surfaces // Adsorption and Catalysis on Oxide Surfaces. 1985. - V.21. - P. 113-12.

11. Хела Р., БоднарOVA Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа TiO₂ в бетоне // Строительные материалы. 2015. - №2. - С. 77-81.
12. Лукутцова, Н.П., Постникова О.А., Соболева Г.Н., Ротарь Д.В., Оглоблина Е.В. Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана / Строительные материалы. 2015. - № 11. - С. 5-8.
13. Лукутцова Н.П., Постникова О.А., Пыкин А.А., Ласман И.А., Солодухина М.Ю., Бондаренко Е.А., Сулейманова Л.А. Эффективность применения нанодисперсного диоксида титана в фотокатализе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. - № 3. - С. 54-57.
14. Лукутцова Н.П., Кулеш И.А., Антоненкова О.Е., Пыкин А.А., Устинов А.Г., Мацаенко А.А., Суглобов А.В. Кинетические модели для оценки агрегативно-седиментационной устойчивости высокодисперсных добавок к бетону и раствору, полученных ультразвуковым диспергированием минеральных компонентов в водной среде // Строительство и реконструкция. 2015. - № 1 (57). - С. 130-136.
15. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. Устойчивость нанодисперсных добавок на основе метакеолина // Стекло и керамика. 2014. - № 11. - С. 7-11.
16. Чудакова, О.А., Лукутцова, Н.П., Хотченков, П.В. Наночастицы диоксида титана в условиях различных стабилизаторов.// Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительстве, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 2-й международной научно-практической конференции. Брянск: БГИТА. 2010 г. - Т.1. - С.273-278.
17. Алексеев И.С., Миклис Н.И., Клименков С.С. Исследование бактерицидных свойств нанопокровов на основе диоксида титана // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2012. - № 2. - С. 91-94.
18. Lukutsova N., Ustinov A. Additive based on biosiliphycated nanotubes //International Journal of Applied Engineering Research. 2015. - V. 10. № 19. - pp. 40451-40453.

References

1. Lukutsova N. P., Pykin A.A., Chudakova O. A. Modifying of fine-grained concrete micro and nanodimensional particles of a shungit and dioxide of the titan//Bulletin of the Belgorod state technological university of V. G. Shukhov. 2010. - №. 2. - P. 66-70.
2. Lukutsova N. P., Pykin A.A., Shirko S.V., Matsayenko A.A. Technical and ecological justification of receiving the nanomodifier for concrete//Construction and reconstruction. 2012. - №. 3. - P. 42-47.
3. Russian Federation patent 108033. A power effective technological production line of a nanodisperse additive for concrete / N. P. Lukutsova, S. A. Akhremenko, E.V. Degtyarev, A.A. Pykin; Zayavl. 4/7/2011; Opubl. 9/10/2011.
4. Russian Federation patent 2500634. A way of production of a complex nanodisperse additive for concrete mix / N. P. Lukutsova, A.A. Pykin; Zayavl. 3/27/2012; Opubl. 12/10/2013.
5. Russian Federation patent 2563264. A way of production of a complex nanodisperse additive for the N.P. high-strength concrete / Lukutsova N. P., Pykin A.A., Suglobov A.V.; Zayavl. 7/30/2014. Opubl. 9/20/2015.
6. Lukutsova N. P., Ustinov A.G., Grebenchenko I.Yu. A new type of the modifier of structure of concrete – an additive on a basis the biosilifitsirovannykh of nanotubes//Construction materials. 2015. - №. 11. - P. 17-19.
7. Pustovgar A.P., Lukutsova N. P., Ustinov A.G. Studying of properties of fine-grained concrete of the serpentinit modified by a nanodisperse additive//the MGSU Bulletin. 2013. -№. 3. - P. 155-162.
8. Linsebigler A. L., Lu G., Yates J. T. Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results // Chemical Reviews. 1995. - V.95. - P. 735-758.
9. Tanaka K., Mario F.V. Capule, Hisanaga T. Effect of crystallinity of TiO₂ on its photocatalytic action // Chemical Physics Letters. 1991. - V.187. №1. - P. 73-76.
10. Munuera G., Gonzalez-Elipse A.R., Rives-Arnau V., Navio A., Malet P., Sokia J., Conesa J.C., Sanz J. Photo-adsorption of oxygen on acid and basic TiO₂ surfaces // Adsorption and Catalysis on Oxide Surfaces. 1985. - V.21. - P. 113-12.
11. Hela R., Bodnarova L. Research of a possibility of testing of efficiency of a photocatalysis TiO₂ in concrete//Construction materials. 2015. - №. 2. - P. 77-81.
12. Lukutsova, N.P., Postnikov O. A., Soboлева G. N., Rotar D.V., Ogloblina E.V. A photocatalytic covering on the basis of an additive of nanodisperse dioxide of the titan / Construction materials. 2015. - №. 11. - P. 5-8.
13. Lukutsova N. P., Postnikov O. A., Pykin A.A., Lasman I.A., Solodukhina M. Yu., Bondarenko E.A., Suleymanova L.A. Effektivnost of use of nanodisperse dioxide of the titan in a photocatalysis//the Bulletin of the Belgorod state technological university of V. G. Shukhov. 2015. -№. 3. - P. 54-57.
14. Lukutsova N. P., Kulesh I.A., Antonenkova O. E., Pykin A.A., Ustinov A.G., Matsayenko A.A., Suglobov A.V. Kinetic models for an assessment aggregate седиментационной stability of the high-disperse additives to concrete and solution received by ultrasonic dispersgating of mineral components in the water environment//Construction and reconstruction. 2015. - №. 1 (57). - P. 130-136.
15. Lukutsova N. P., Pykin A.A. Stability of nanodisperse additives on the basis of a metakaolin//Glass and ceramics. 2014. - №. 11. - P. 7-11.
16. Chudakova, O. A., Lukutsova, N.P., Hotchenkov, P. V. Nanoparticles of dioxide of the titan in the conditions of various stabilizatorov.//Problems of innovative biospheric and compatible social and economic development in construction, housing-and-municipal and road complexes: materials of the 2nd international scientific and practical conference. Bryansk: BGITA. 2010 - T.1. - P. 273-278.
17. Alekseev I.S., Miklis N. I., Klimenkov S. S. Research of bactericidal properties of nanocoverings on the basis of dioxide of the titan//the Bulletin of the Vitebsk state technological university. 2012. - №. 2. - P. 91-94.
18. Lukutsova N., Ustinov A. Additive based on biosiliphycated nanotubes //International Journal of Applied Engineering Research. 2015. - V. 10. № 19. - pp. 40451-40453.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.076

Романова Н.А.¹, Леонтьев В.С.², Анисимов К.И.³¹Доцент, кандидат технических наук, ²Доцент, кандидат технических наук,³ORCID: 0000-0002-2290-1665, Студент,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ АЦЕТОНА
ПРИ ЕГО ПРОИЗВОДСТВЕ КУМОЛЬНЫМ СПОСОБОМ****Аннотация**

В данной работе проведена оценка возможности выделения товарного ацетона в одной колонне высокой эффективности вместо существующей трехколонной системы. Рассмотрено влияние эффективности колонны, точки ввода питания, флегмового числа, доли отбора и давления процесса на показатели качества товарного продукта.

Ключевые слова: ацетон, оптимизация, энергосбережение.

Romanova N.A.¹, Leontiev V.S.², Anisimov K.I.³¹Associate professor, PhD in Engineering, ²Associate professor, PhD in Engineering,³ORCID: 0000-0002-2290-1665, Student, National Mineral Resources University (Mining University)**POWER OPTIMIZATION OF ACETONE CONCENTRATING TECHNOLOGY BY CUMENE METHOD****Abstract**

This paper discusses one of the stages of cumene process of acetone and phenol production, namely distillation of acetone. Currently the distillation is performed by means of a series of three columns to fulfill of separation efficiency.

Simulation of an acetone unit using algorithms of optimization of single-column distillation units has shown that the distillation process can be optimized into a single stage using regular packing. Influence of the single column efficiency, point of food column input, reflux ratio and pressure of process on product quality is considered.

Keywords: acetone, optimization, energy saving.

Фенол и ацетон представляют собой ценные продукты нефтехимического синтеза. Фенол главным образом применяется для производства фенолформальдегидных смол, красителей, антисептиков, гербицидов, химических волокон. Ацетон нашел широкое применение в качестве растворителя. Одним из наиболее распространенных способов их получения является кумольный метод, при котором эти продукты производятся совместно разложением гидропероксида кумола. Выделение продуктов синтеза характеризуется высокой стадийностью и энергоемкостью, что связано в первую очередь с большим количеством примесей с разной концентрацией, таких как α -метилстирол, окись мезитила, метилфенилкетон, диметифенилкарбинол, гидроксиацетон, метанол, альдегиды и кислоты и др., которые существенно затрудняют выделение и очистку фенола и ацетона. В соответствии с требованиями ГОСТ 2768-84 «Ацетон технический. Технические условия» ацетон высшего сорта должен иметь содержание целевого вещества не менее 0,9975 масс. долей, при этом концентрация примесей, таких как вода, метанол и органические кислоты, строго ограничена. В частности, содержание метанола не должно превышать 0,0005 масс. долей.

Фенол марки А должен содержать не менее 0,9996 масс. долей основного компонента. Содержание микропримесей в нем также регламентировано.

На ряде заводов России выделение ацетона производится в трех последовательных ректификационных аппаратах (рисунок 1), в первом из которых (К-1) исходная реакционная смесь разделяется на ацетоновый и фенольный потоки, далее ацетоновый поток направляется на вторую колонну К-2, где выделяется ацетон-сырец, содержащий остатки воды и легкие примеси. Ацетон-сырец идет на питание колонны К-3, предназначенной для выделения товарного ацетона, который отводится в качестве дистиллята. Суммарные затраты греющего пара на систему трех колонн составляют 1,8 Гкал/т товарного ацетона.

Ориентировочный состав питания колонн К-1, К-2 и К-3 приведен в таблице 1.

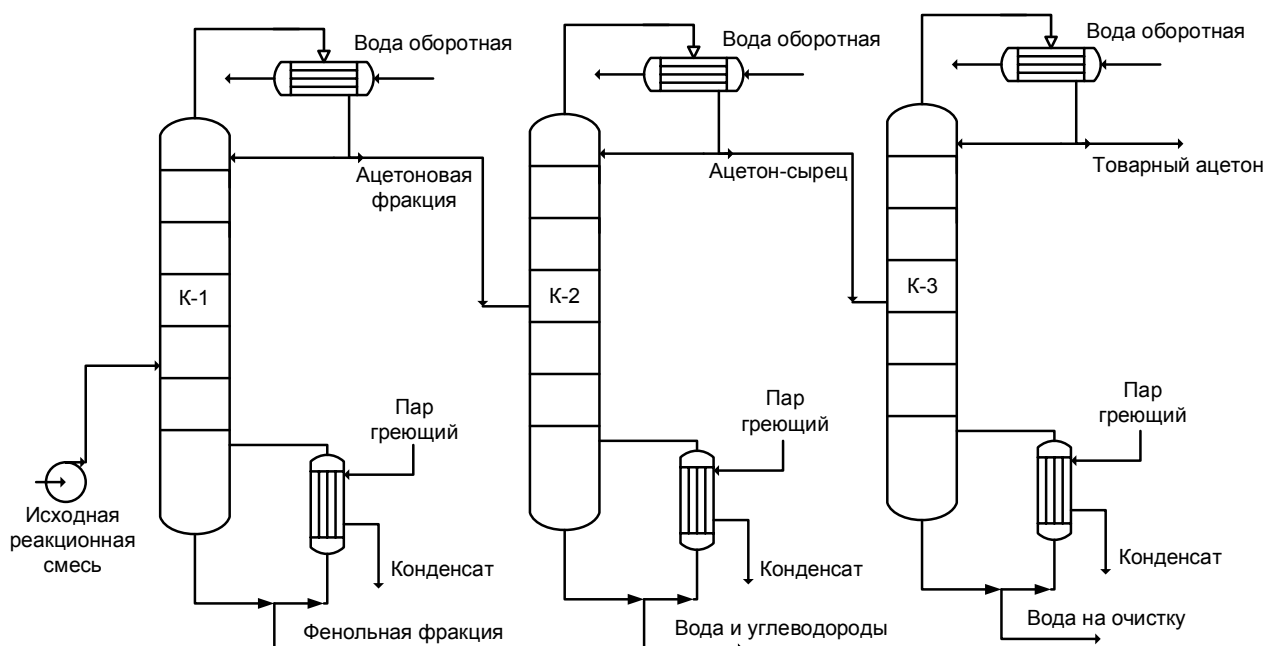


Рис. 1 – Существующая схема выделения ацетона на 3-х колоннах

Из анализа структуры существующей схемы и потоков следует, что эффективности колонн К-1 и К-2 недостаточно для отделения от ацетона воды и примесей более высококипящих, чем ацетон, до требуемых показателей. Кроме того, в существующей схеме не предусмотрен гарантированный вывод легколетучих примесей и метанола из промышленного цикла.

В данной работе проведена оценка возможности выделения товарного ацетона в одной колонне К-1 высокой эффективности. Рассмотрено влияние эффективности колонны, точки ввода питания, флегмового числа, доли отбора и давления процесса на показатели качества товарного продукта.

Таблица 1 – Ориентировочный состав питания колонн К-1, К-2, К-3

Компонент	Содержание, % масс.		
	К-1 Эффективность 16 т. т.	К-2 Эффективность 35 т. т.	К-3 Эффективность 58 т. т.
Фенол	0,4690	0,0000	0,0000
Ацетон	0,2926	0,6444	0,9783
Изопропилбензол	0,0171	0,0370	0,0002
Альфа-метилстирол	0,0407	0,0738	0,0000
Вода	0,1442	0,2320	0,0212
Метанол	0,0005	0,0011	0,0003
Муравьиная кислота	0,0008	0,0001	0,0000
Альдегиды	0,0008	0,0002	0,0000
Окись мезитила	0,0053	0,0094	0,0000
Гидроксиацетон	0,0020	0,0000	0,0000
Тяжелые примеси	0,0270	0,0020	0,0000

т. т. – теоретическая тарелка

При наличии в питании колонны К-1 легколетучих примесей, таких как альдегиды и органические кислоты, не удаленных на стадии нейтрализации смеси после разложения гидропероксида кумола, качество ацетона ухудшается. Повысить качество товарного продукта при наличии легколетучих примесей можно за счет использования бокового отбора [1] целевого продукта с формированием буферной зоны определенной эффективности между точкой отбора целевого продукта и верхом колонны.

При анализе работы колонны К-1 использовался метод построения кривых качества [1], каждая точка которых характеризует совокупность конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих требуемые показатели качества товарного продукта, являющегося постоянной величиной для всего множества точек.

Моделирование процесса велось в программном пакете HYSYS с использованием пакетов NRTL и Chien Null, которые дали близкие результаты. Эффективность колонны варьировалась от 16 т.т. до 90 т.т., доля отбора от регламентных значений для трехколонной схемы ($\epsilon=0,475$) до балансового содержания ацетона в отборе и исходной смеси ($\epsilon=0,325$). Оптимальное флегмовое число определялось на основе построения кривых качества.

На рисунке 2 приведена схема выделения ацетона на одной высокоэффективной колонне с боковым отбором целевого продукта.

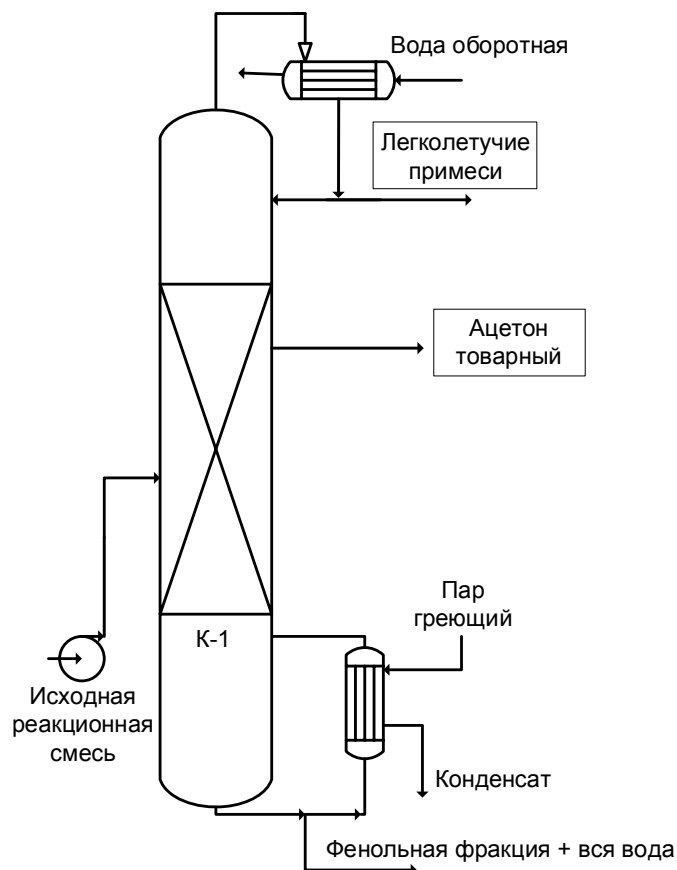


Рис. 2 – Схема выделения ацетона на одной высокоэффективной колонне

На рисунках 3-7 показаны концентрационные профили ацетона, воды, метанола, а также суммы альдегидов и органических кислот по высоте ректификационной колонны К-1 при двух значениях доли отбора ($e=0,475$ и $e=0,325$), одинаковой эффективности колонны (80 теоретических тарелок) и флегмовом числе ($R=1,6$).

Анализ полученных результатов показывает, что доля отбора сильно влияет на состав дистиллята. При доле отбора, равной содержанию ацетона в исходном продукте ($e=0,325$ масс.), в колонне высокой эффективности (80 т.т.) дистиллят содержит метанол и воду в допустимых ГОСТ 2768-84 количествах, а также следы альдегидов и органических кислот. Требуемое качество ацетона обеспечивается при вариации точки ввода питания с 32 по 36 т. т., считая снизу.

При уменьшении доли отбора относительно балансовой величины ацетона исходной реакционной смеси в кубе колонны появится ацетон, а при ее увеличении – в товарном продукте повысится содержание метанола, альдегидов и кислот. Поэтому при выделении ацетона в одну стадию необходимо решить задачу стабилизации потока отбора дистиллята и его коррекции в зависимости от количества ацетона, поступающего в колонну. Коррекцию доли отбора целесообразно осуществлять по температуре контрольной тарелки. В качестве контрольной тарелки принимается зона, наиболее чувствительная к изменению концентрационного и температурного полей по высоте колонны. На рисунке 8 приведены температурные профили по высоте колонны при различных долях отбора и выделены потенциальные контрольные зоны.

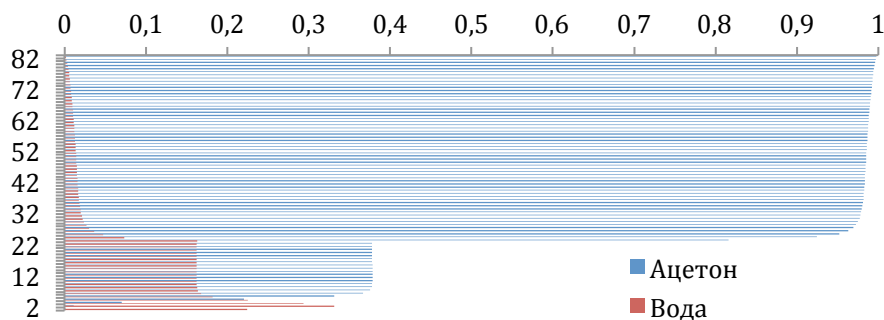


Рис.3 – График зависимости массовой концентрации ацетона и воды по высоте колонны при $e=0,325$

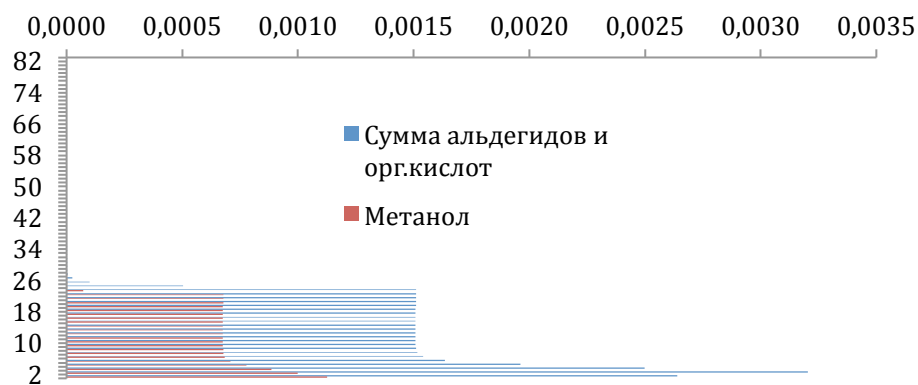


Рис. 4 – График зависимости массовой концентрации альдегидов, органических кислот и метанола по высоте колонны при $e=0,325$

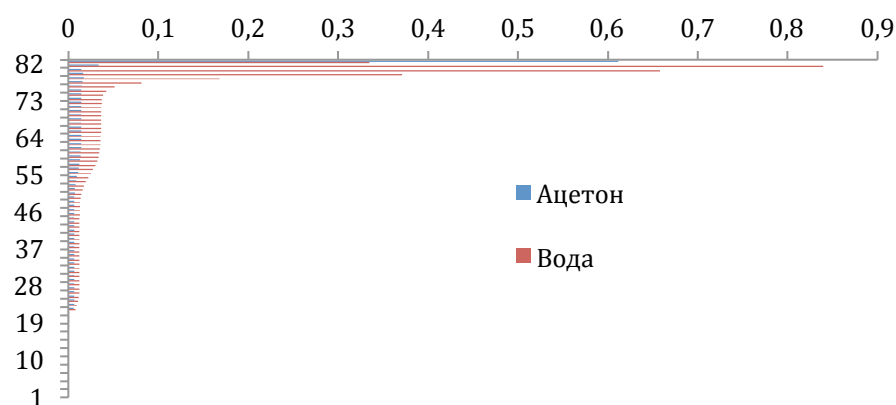


Рис. 5 – График зависимости массовой концентрации ацетона и воды по высоте колонны при $e=0,475$

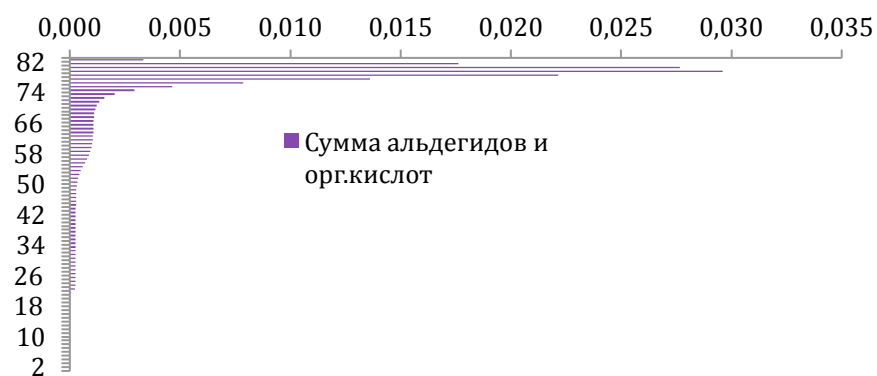


Рис. 6 – График зависимости массовой концентрации альдегидов и органических кислот по высоте колонны при $e=0,475$

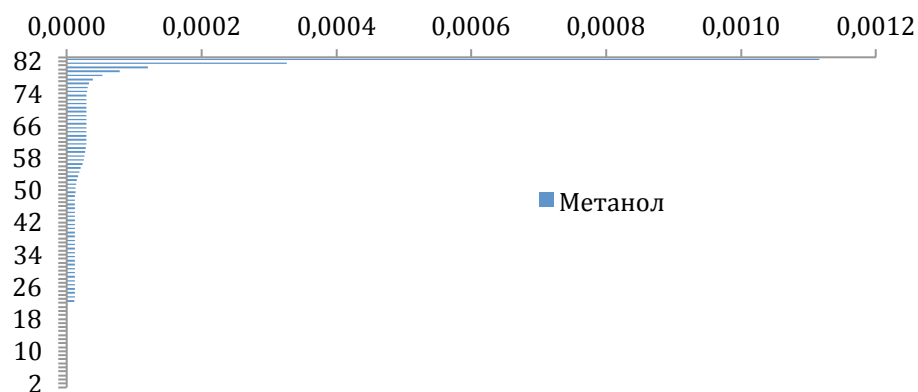


Рис.7 – График зависимости массовой концентрации метанола по высоте колонны при $e=0,475$

Следует отметить, что содержание метанола в сырье принималось равным 0,06 % масс. При большем содержании этого компонента в исходной смеси отделить ацетон от метанола до требуемого остаточного содержания последнего не представляется возможным даже при понижении остаточного давления до 10 мм Hg, что объясняется наличием азеотропной смеси с минимальной температурой кипения, что хорошо согласуется с данными [2].

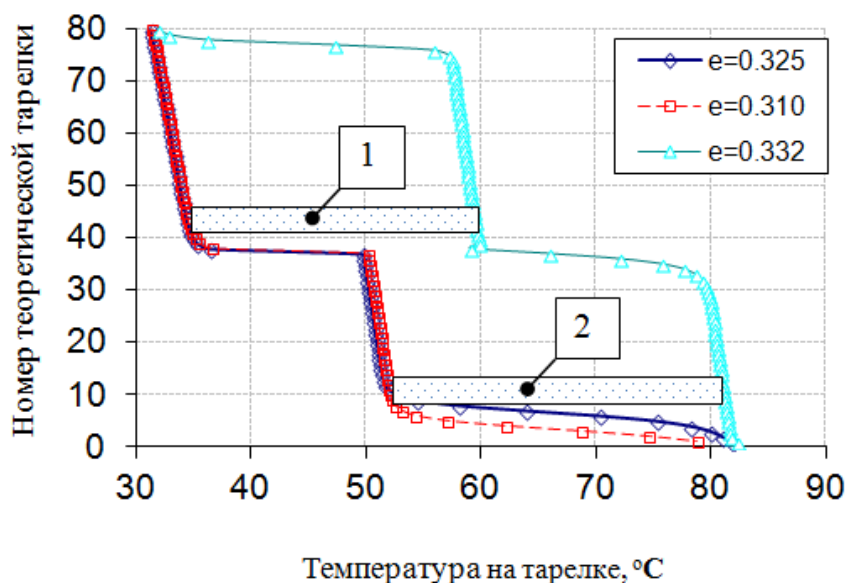


Рис. 8 – Температурные профили по высоте колонны при различных долях отбора: 1 и 2 – потенциальные контрольные зоны

В источнике [3] предлагается разделять смесь метанол-ацетон методом экстрактивной ректификации с водой в комплексе из двух колонн, работающих под разными давлениями. Если содержание метанола в реакционной массе выше 0,06%, то при увеличении содержания в ней воды, смесь разделяется с получением ацетона заданного качества по метанолу. На графике (рисунок 9) показана зависимость количества метанола, попадающего в ацетон вместе с дистилятом от его потенциального содержания в исходной смеси от количества воды в реакционной смеси. Таким образом, количество воды, необходимое для очистки ацетона от метанола, выбирается в зависимости от концентрации метанола в реакционной массе.

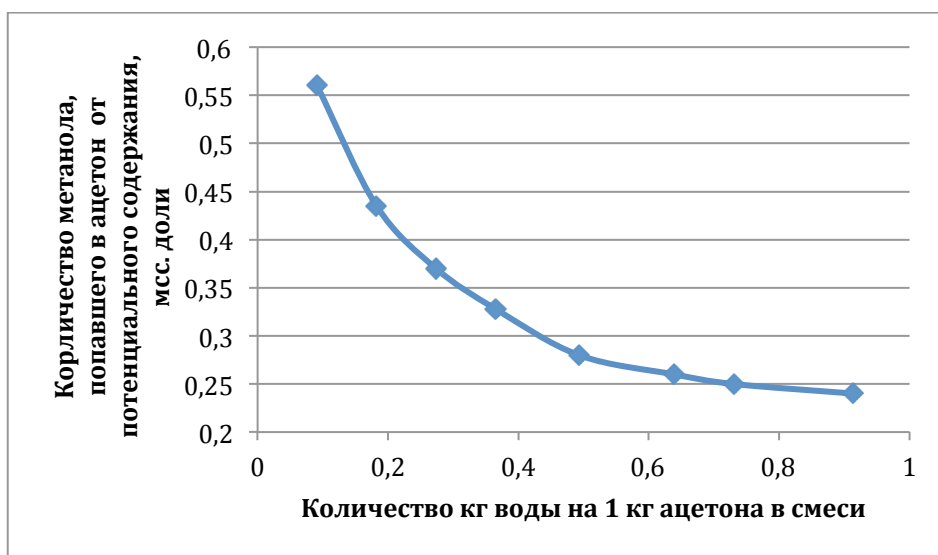


Рис. 9 – График зависимости количества метанола, ушедшего в ацетон от количества воды в смеси

Снижение давления позитивно влияет на разделение реакционной смеси. Однако, степень понижения давления ограничена ввиду низкой температуры кипения целевого продукта (ацетона). В таблице 2 приведены результаты расчета температуры верха колонны и концентрации ацетона в дистиляте при разных давлениях. Из таблицы видно, что оптимальным давлением будет значение 0,04 МПа, при котором уже достигается требуемое содержание основного компонента в потоке дистилята, и в то же время температура конденсации паров позволяет использовать в качестве хладагента захлажденную воду.

Оптимизационные расчеты показали, что получить ацетон заданного качества при его выделении из реакционных смесей кумольного производства можно в одну стадию при следующих условиях: эффективность колонны К-1 разделения реакционной смеси на ацетоновый и фенольный потоки должна быть увеличена с 16 до 80 т.т., давление в колонне снижено до 0,4 ата, флегмовое число увеличено с 0,55 до 1,6. При этом количество энергии, затраченной на получение 1 тонны ацетона снижается на 1,3 Гкал или в 3,6 раз.

Таблица 2 – Значения концентрации ацетона в дистилляте и температуры верха колонны при разных давлениях

Давление, ата	Концентрация ацетона, % масс.	Температура верха, °С
0,6	99,57	42,0
0,5	99,66	37,2
0,4	99,8	31,9
0,3	99,82	25,05
0,2	99,91	15,0

При проектировании ректификационного аппарата для обеспечения требуемой четкости разделения в качестве контактных устройств (КУ) целесообразно использовать высокоэффективные упругие регулярные насадки.

Колонны с РН наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к ректификационным аппаратам в вакуумных процессах, так как обладают значительно меньшим гидравлическим сопротивлением по сравнению с любыми тарельчатыми КУ.

Выводы

1. Выделение ацетона с товарными характеристиками возможно в одной колонне разделения реакционной смеси на ацетоновый и фенольный потоки при повышении эффективности колонны с 16 до 80 теоретических тарелок, увеличении флегмового числа с 0,55 до 1,6 и понижения давления в колонне с атмосферного до вакуума (0,04 МПа). При этом изменение доли отбора в первой колонне существенно влияет на содержание в ацетоне таких примесей, как альдегиды и органические кислоты, углеводороды и окись мезитила, но менее значительно влияет на концентрационный профиль метанола по высоте колонны.

2. При разделении исходной смеси необходимо контролировать содержание в ней метанола, образующего с целевым ацетоном положительную азеотропную смесь. При повышении концентрации метанола, требуется повысить расход воды, что необходимо учесть при выполнении гидравлического расчета колонного аппарата. Запас по производительности должен составлять не менее 30%.

3. Затраты греющего пара в пересчете на энергетические единицы снизились на 1,3 Гкал на 1 тонну товарного ацетона.

4. В качестве контактных устройств, одновременно обеспечивающих заданную четкость разделения и малое гидравлическое сопротивление, рекомендуются регулярные насадки.

Литература

1. Леонтьев В.С. Оптимизация одноколонных ректификационных аппаратов для химических технологий и процессов нефтепереработки [Электронный ресурс] / В.С. Леонтьев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – №2. – С. 255-264. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Leontiev/Leontiev_4.pdf
2. Огородников С. К., Лестева Т. М., Коган В. Б. Азеотропные смеси. Справочник. – Л.: Химия, 1971. 848 с.
3. Анохина Е. А., Сидорова Ю. И., Тимошенко А. В. Экстрактивная ректификация смеси ацетон – метанол с водой в комплексе с частично связанными тепловыми и материальными потоками // Вестник МИТХТ. – 2011. - №5. - С. 118-124.

References

1. Leont'ev V.S. Optimizacija odnokolonnyh rektifikacionnyh apparatov dlja himicheskikh tehnologij i processov neftepererabotki [Elektronnyj resurs] / V.S. Leont'ev // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». – 2012. – №2. – S. 255-264. – Rezhim dostupa: http://www.ogbus.ru/authors/Leontiev/Leontiev_4.pdf
2. Ogorodnikov S. K., Lesteva T. M., Kogan V. B. Azeotropnye smesi. Spravochnik. – L.: Himija, 1971. 848 s.
3. Anohina E. A., Sidorova Ju. I., Timoshenko A. V. Jekstraktivnaja rektifikacija smesi acetona – metanol s vodoj v komplekse s chastichno svjazannymi teplovymi i material'nymi potokami // Vestnik MITHT. – 2011. - №5. - S. 118-124.

DOAJ

Все материалы, опубликованные в Международном научно-исследовательском журнале, размещаются в депозитарии научных изданий Университета Лунда.

DOAJ (Лунд, Швеция) [<http://www.doaj.org/>].

Таким образом, публикации наших авторов доступны еще большему кругу исследователей, что повышает их статус и увеличивает возможность цитирования.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.190

Садовой В.В.¹, Щедрина Т.В.²¹ORCID: 0000-0002-1825-0097, Доктор технических наук,
Ставропольский институт кооперации (филиал) БУКЭП,
Северо-Кавказский федеральный университет (филиал) в г. Пятигорске²ORCID: 0000-0002-1825-0023, Кандидат технических наук,
Северо-Кавказский федеральный университет (филиал) в г. Пятигорске**ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРАГМЕНТА МОЛЕКУЛЫ
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ ХИТОЗАНА****Аннотация**

Приведены технологические и лечебно-профилактические свойства хитозана. С использованием компьютерной химии разработана модель и рассчитана поверхность потенциальной энергии участка молекулы хитозана. Подтверждено наличие в области атома азота зоны для присоединения протона. Теоретические исследования квантово-химических характеристик подтверждены результатами изучения активной кислотности растворов хитозана в подсырной сыворотке. Установлено, что при растворении хитозана в присутствии органических кислот повышается pH среды. Результаты исследований эмульгирующей способности белковых суспензий показали, что хитозан является высокоэффективным эмульгатором.

Ключевые слова: хитозан, растворимость, компьютерная химия, молекулярные свойства, активная кислотность, потенциальная энергия.

Sadovoy V. V.¹, Shchedrina T. V.²¹ORCID: 0000-0002-1825-0097, Doctor of Technical Sciences,
Stavropol Institute of Cooperation (branch) BUKER,
North- Caucasian Federal University (branch) in Pyatigorsk²ORCID: 0000-0002-1825-0023, Candidate of Technical Sciences
North- Caucasian Federal University (branch) in Pyatigorsk**INVESTIGATION OF QUANTUM CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE PORTION
OF THE MOLECULE BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVE OF CHITOSAN****Abstract**

The technological and therapeutic and prophylactic properties of chitosan are shown. Using computational chemistry developed a model and calculated the potential energy surface area of chitosan molecule. It confirmed the presence of a proton in an area zone joining the nitrogen atom. Theoretical quantum chemical study confirmed the results of the study of active acidity chitosan solutions in cheese whey. It is found that by dissolving chitosan in the presence of organic acids, the pH is increased. The results of studies of protein suspensions emulsifying ability showed that chitosan is highly emulsifier.

Keywords: chitosan, solubility, Computational Chemistry, Molecular Properties, active acidity, potential energy.

Имеется много сведений и накоплен опыт использования в различных отраслях пищевой промышленности природных полисахаридов. Одним из представителей высокоэффективных эмульгаторов и гелеобразователей является хитозан.

Хитозан способен образовывать более стабильные и более текучие гели чем другие полисахариды. Неоспоримым достоинством является безвредность хитозана, он экологически чист и может длительно применяться по всем направлениям, в природных условиях этот полисахарид полностью распадается [1].

В мире наиболее важными направлениями использования производных хитина являются пищевая промышленность и медицина. Известно, что хитозан способствует активации перистальтики и снижению давления в кишечнике, сокращает усвоение токсичных компонентов пищи, оказывает профилактическое действие при возникновении рака. Этот полисахарид восстанавливает лимфатические клетки, которые способствуют ликвидации онкологических новообразований [2]. Хитозан широко применяют для лечения ожогов, ран и язв; при производстве хирургических нитей и искусственной кожи; лекарственных форм антисклеротического и антиартрозного действия. Как энтеросорбент хитозан в пищеварительном тракте поглощает холестерин и жир в 10–12 раз больше молекулярного веса полисахарида.

В пищевой промышленности производные хитина используют в качестве эмульгатора, загустителя и структурообразователя, при производстве продуктов функционального питания, способных выводить радионуклиды из организма [3, 4].

Хитозан – это катионный полиамин. Такая структурная формула довольно редко встречается среди природных полисахаридов. Хитозан по строению молекулы является полисахаридом (химическая формула – β -(1-4)-2-амино-2-дезоксид-D-гликополисахарид) (рис. 1).

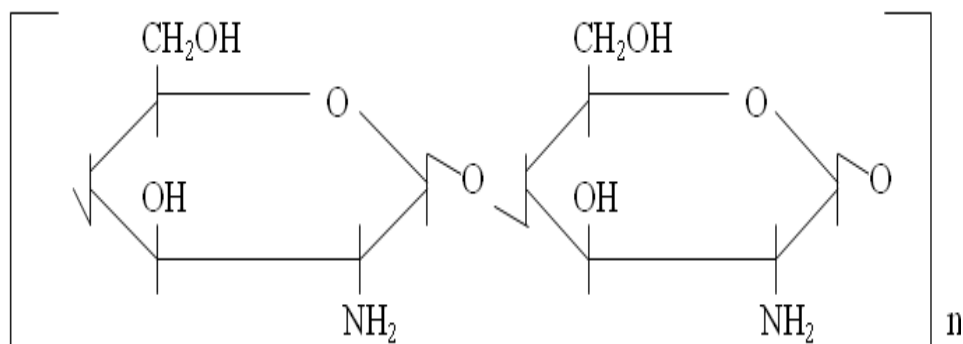


Рис. 1 – Структурная формула хитозана

В пакетах прикладных программ HyperChem и ChemOffice разработаны модели участков полимерной молекулы. Выполнена геометрическая оптимизация (рис. 2) исследуемого фрагмента. Оптимизацию геометрии осуществляют для поиска устойчивых молекулярных структур и перед началом молекулярно-динамических экспериментов. С помощью полуэмпирического и квантово-химического методов рассчитана поверхность потенциальной энергии фрагмента молекулы хитозана, состоящего из шестнадцати фрагментов (рис. 3).

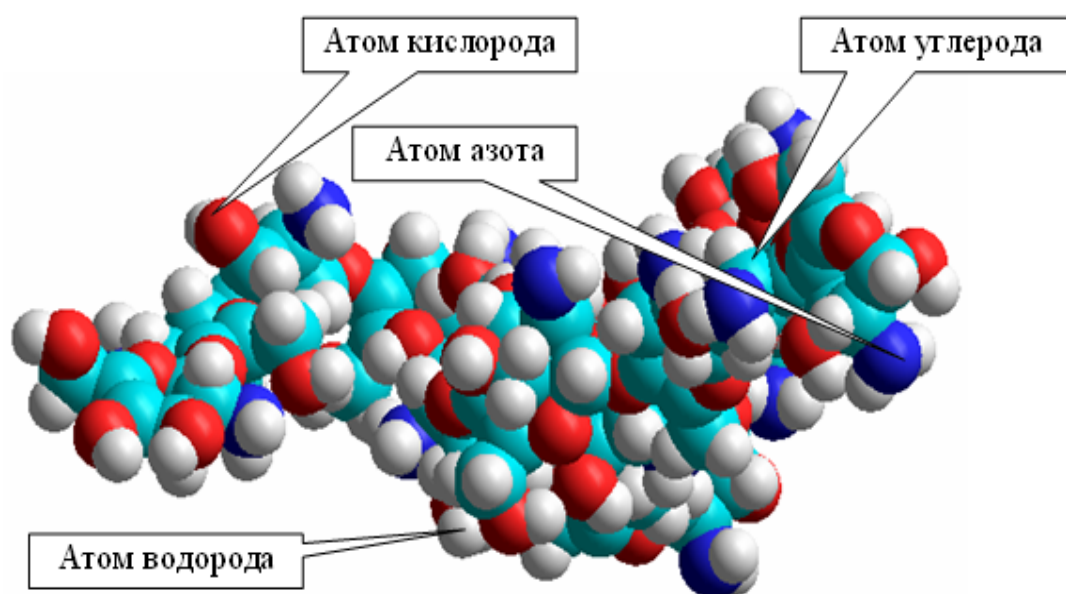


Рис.2 – Фрагмент молекулы хитозана

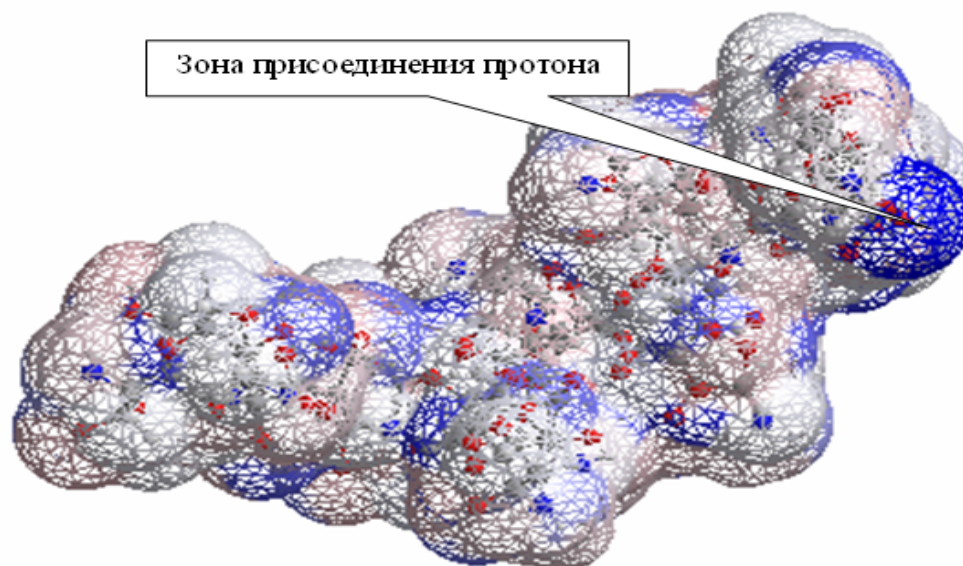


Рис. 3 – Распределение потенциальной энергии на поверхности фрагмента молекулы хитозана

Поверхность потенциальной энергии фрагмента молекулы хитозана является потенциалом взаимодействия в изолированной молекуле атомных ядер. В минимумах на поверхности потенциальная энергия имеет только положительное значение. Результаты моделирования (рис. 3) позволили установить участок в молекулярной структуре в области атомов азота с наибольшей плотностью отрицательного заряда. Это позволяет сделать вывод о возможности присоединения протона к атому азота и обосновывает способность хитозана образовывать коллоидные растворы в органических кислотах для использования их при производстве пищевых продуктов.

Наиболее целесообразно использовать для растворения хитозана с целью получения коллоидных растворов подсырную сыворотку. Подсырная сыворотка является натуральным продуктом, обладает высокой биологической ценностью и имеется в достаточных количествах на предприятиях молочной промышленности.

Растворимость хитозана зависит в первую очередь от степени дезацетилирования, которая характеризует заряд системы, а также зависит и от условий термообработки и размера частиц. Чем выше температура подсырной сыворотки, тем быстрее растворяется хитозан. Это обусловлено диффузионными процессами, которые ускоряют тепловое движение молекул и степень гидратации.

Присоединение протона способствует повышению активной кислотности коллоидного раствора, в связи с этим изучено влияние количественного содержания хитозана на изменение величины pH смеси (табл. 1). При проведении анализа динамических изменений активной кислотности была использована сыворотка с исходным значением pH равным 4,51. Подготовленную смесь хитозана (степень дезацетилирования 75%) и сыворотки подогрели до 80°C и выдерживали при этой температуре в течение 10 минут с целью пастеризации и наиболее полного растворения хитозана. Приготовленный раствор охлаждали до 20°C и измеряли активную кислотность.

Таблица 1 – Влияние концентрации хитозана на динамику изменения pH подсырной сыворотки

Концентрация хитозана в сыворотке, %	Динамика изменения pH
0	4,51
3	6,04
4	6,09
5	6,14
6	6,21
9	6,34

Полного растворения хитозана сразу после нагревания не наблюдалось ни в одном из образцов. В результате охлаждения образовались вязкие полупрозрачные растворы с частицами набухшего хитозана. Полученные данные свидетельствуют о том, что добавление хитозана в подсырную сыворотку приводит к довольно значительному изменению активной кислотности (с 4,51 до 6,04 – 6,34), с увеличением концентрации хитозана возрастает pH раствора. Это явление подтверждает результаты анализа молекулярных свойств хитозана и, по всей вероятности, обусловлено увеличением количества набухших частиц, способных присоединять протон и изменять энергетический заряд системы.

Из литературных источников известно, что хитозан хороший гелеобразователь и эмульгатор. Доказана способность хитозана образовывать комплексные соединения с протеинами и липидами. Наличие гидроксильных групп высокой электронной плотности с неподеленными электронными парами вдоль молекулы приводит к образованию водородных связей с другими биополимерными соединениями [5], в первую очередь формируются прочные комплексы с липидами и белками, в которых хитозан выполняет роль ядра. Исследована эмульгирующая способность смесей хитозана и 1%-ых по белку суспензий. В качестве модельных белковых растворов использовался соевый концентрат (марки Arcon S) с 3%-ми растворами хитозана в подсырной сыворотке (в соотношении 0,2 % хитозана к массе соевого концентрата) [4]. Максимальный показатель эмульгирующей способности имел образец суспензии, содержащий жировой фазы 80 объемных процентов.

Опытные образцы белковых суспензий с растворами хитозана обладали высокой эмульгирующей способностью по сравнению с контролем (образец без добавления хитозана). В результате проведенных исследований установлено, что 1 г исходного количества белка, содержащегося в концентрате Arcon S способен связать 150 г жира (при объемной доле масла 80 %), введение сывороточных растворов хитозана в систему повышает этот показатель более, чем в 2,5 раза. Полученные результаты свидетельствуют о том, что аминополисахарид хитозан, так же, как и белки играет существенную роль в образовании стабильных эмульсий.

Таким образом, теоретические исследования квантово-химических характеристик хитозана и проведенные экспериментальные исследования подтвердили способность данного полисахарида растворяться в растворах подсырной сыворотки и изменять в сторону повышения активную кислотность смеси. Доказана целесообразность применения хитозана в качестве высокоэффективного эмульгатора в белковых суспензиях. Установленные полезные свойства хитозана предполагают его использование в пищевой промышленности в качестве регулятора функционально-технологических свойств готовых изделий.

Литература

1. Моргунова А.В. Использование хитозана в технологии мясопродуктов: Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2015. Т. 1. №8. С. 771–773.
2. Моргунова А.В. Использование хитозана для получения пленкообразующего покрытия колбасных изделий // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. №4 (20). С. 55–58.
3. Ким Г.Н. Барьерные технологии в производстве пресервов высокого качества: Материалы Шестой международной конференции "Новые перспективы в исследовании хитина и хитозана". – М. : Издательство ВНИРО, 2001. –С. 176–177.

4. Шепило Е. А. Разработка технологии вареных колбасных изделий с использованием гидроколлоидов с модифицированными функциональными свойствами: Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2005.– 159 с.

5. Моргунова А.В. Производство колбасных изделий без оболочки с использованием активированных растворов хитозана // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. №12-1. С. 136–138.

References

1. Morgunova A.V. Ispolzovanie hitozana v tehnologii myasoproduktov: Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovtsevodstva i kozovodstva. 2015. T. 1. №8. S. 771–773.

2. Morgunova A.V. Ispolzovanie hitozana dlya polucheniya plenkoobrazuyushchego pokryitiya kolbasnykh izdeliy // Vestnik APK Stavropol'ya. – 2015. #4 (20). S. 55–58.

3. Kim G.N. Baryernyye tekhnologii v proizvodstve preservov vysokogo kachestva: Materialy Shestoy mezhdunarodnoy konferentsii "Novyye perspektivy v issledovanii khitina i khitozana". – М. : Izdatel'stvo VNIRO. 2001. –S. 176–177.

4. Shepilo E. A. Razrabotka tekhnologii varennykh kolbasnykh izdeliy s ispolzovaniyem gidrokolloidov s modifitsirovannymi funktsionalnymi svoystvami: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni k.t.n. – Stavropol: SevKavGTU. 2005.– 159 s.

5. Morgunova A.V. Proizvodstvo kolbasnykh izdeliy bez obolochki s ispolzovaniem aktivirovannykh rastvorov hitozana // Fundamentalnyie i prikladnyie issledovaniya v sovremennom mire. – 2015. #12-1. S. 136–138.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.303

Семенов Я.С.¹, Скачков Ю.Б.², Соловьева А.Я.²

^{1,2}Институт мерзлотоведения СО РАН, ³Арктический государственный институт культуры и искусства

МОДЕЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРОКАТА ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Аннотация

Известно, что трубопроводный транспорт энергоносителей находится под влиянием резких перепадов температуры. Они вызывают значительные изменения их длины. Как следствие происходят сильные прогибы с образованием гофр, вызывая расслоение материала трубопровода вдоль направлений проката. Поэтому в производстве металлопроката для труб энергоносителей стоит задача оптимизации параметров микроструктуры сталей. Нами предлагается модель оптимизации прокатной микроструктуры.

Ключевые слова. Микроструктура металла проката для трубопроводов, температурные циклические нагрузки, расслоение материала трубопровода, оптимизация параметров микроструктуры металла трубного проката.

Semenov Ya.S.¹, Skachkov Yu.B.¹, Soloveva A.Ya.²

^{1,2}Melnikov Permafrost Institute SB RAS, ²Arctic State Institute Culture and Arts

MODEL OPTIMIZATION OF PARAMETR OF THE MICROSTRUCTURE METALL TUBE AFTER ROLLING

Abstract

Tube transport are subjected influence over fall climatic temperature. This is driving construction corrugated on iron with exfoliation, because we modeling and optimization on mathematical model.

Keyword: microstructure tube, temperature cycle stressing, optimization microstructure of the metal tube.

Введение. Экстремальные изменения температур вызывают циклические изменения длины трубопровода, вследствие чего на температурных компенсаторах, в местах изгиба и другие повороты возникают циклические нагрузки [1], ведущие к расслоению материала трубопровода.

Анализ причин отказов магистральных газопроводов, эксплуатируемых при больших амплитудах колебаний годовой климатической температуры, показал, что во многих случаях разрушение происходит из-за образования гофр [2]. Они обычно образуются на «выпученных» участках в виде арок или выгибов [3].

Сам процесс разрушения при образовании гофр происходит расслоением металла труб газопровода вследствие многократных циклических изгибных нагрузок (см. рис.1).

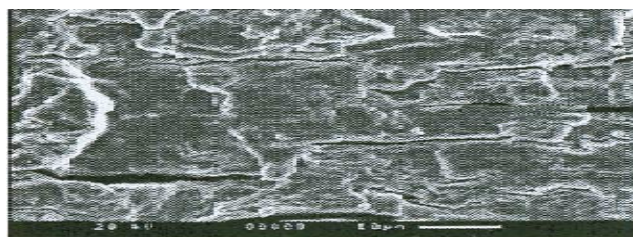
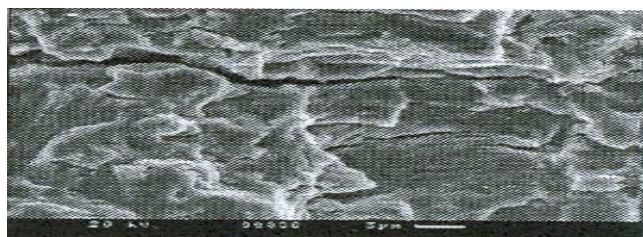


Рис. 1 - Поверхность разрушения промышленной трубы на месте образования гофра (видны трещины расслоения)

Как известно, металл труб в большинстве своем получается в результате проката металлических болванок с соответствующими термомеханическими обработками. В работах многих авторов [4] указано, что вследствие проката образуется сильно текстурированная структура, ударная вязкость которых сильно различается при испытаниях поперек и вдоль проката (до 3-4 раз). Из этого можно заключить, что металл труб газопровода, полученный в результате проката, представляет собой сложную текстурированную слоистую структуру.

В этом случае важную роль необходимо отдавать границам раздела этих "слоев". Границы раздела имеют значительную ширину и протяженность по сравнению с межзеренными границами (см.рис.2).



Рис.2. а – текстурные межзеренные границы, б - межзеренные границы

Цель работы – построить модель оптимизации прокатной структуры металла трубного транспорта.

Моделирование. Образование гофр на трубопроводе в местах естественного изгиба при многочисленных перепадах температур, ведет к расслоению текстурированного металла трубопровода тем самым, снижая прочность относительно рабочего давления газопровода.

В целом локальный участок гофры можно рассматривать как сферическую оболочку, подверженную силовому и температурному воздействию. Причем силовое воздействие является гидростатическим нагружением как внутренним, так и внешним (подземный, подводный участки газопровода).

Пусть l , R - радиусы внутренней и внешней поверхности сферического участка гофры. Для определенности на границе $r = l$ будем считать известной температуру T_1 и давление p_1 , а на внешней границе $r = R$ зададим теплообмен по закону Ньютона и давление p_2 . В случае центральной симметрии напряженно-деформированного состояния многослойной сферы в сферической системе координат $\sigma(r, \theta, \varphi)$ описывается краевой задачей, включающей уравнение равновесия.

$$\frac{d\sigma_{rr}}{dr} + \frac{2}{r}(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}) = 0 \quad (1)$$

стационарное уравнение теплопроводности

$$\frac{d}{dr}(r^2 \lambda \frac{dT}{dr}) = 0 \quad (2)$$

соотношения закона Дюамеля-Неймана

$$\sigma_{rr} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[(1-\nu) \frac{du_r}{dr} + 2\nu \frac{u_r}{r} - \alpha(1+\nu)T \right] \quad (3)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[\frac{u_r}{r} + \nu \frac{du_r}{dr} - \alpha(1+\nu)T \right]$$

и краевые условия

$$\sigma_{rr}(l) = -p_1; \quad \sigma_{rr}(R) = -p_2 \quad (4)$$

$$T(l) = T_1; \quad \lambda(R) \frac{dT(R)}{dr} = k(T_2 - T(R)) \quad (5)$$

где $u_r(r)$, $\sigma_{rr}(r)$, $\sigma_{\theta\theta}(r)$, $T(r)$ - радиальное перемещение точек металла гофры, компоненты радиальных и окружных напряжений и температурное поле; $E(r)$, $\nu(r)$, $\alpha(r)$, $\lambda(r)$ - модуль Юнга, коэффициенты Пуассона, теплового расширения и теплопроводности металла "сферы" гофры; T_2 - температура внешней среды; k - коэффициент теплопередачи.

На внутренних границах $r_i \in (l, R)$ слоев "сферы" гофры, где терпят разрыв характеристики среды, должны быть непрерывны перемещения u_r , напряжение σ_{rr} , температура T и тепловой поток $\lambda dT/dr$.

Пусть $r_o, \sigma_o, \rho_o, t_o, \lambda_o$ - характерные величины, имеющие размерности длины, напряжения, плотности,

температуры и коэффициента теплопроводности. Введем безразмерное перемещение $u_r^* = \frac{u_r}{r_o}$; $r^* = \frac{r}{r_o}$;

$$\ell^* = \frac{l}{r_o}; \quad R^* = \frac{R}{r_o}; \quad p_i^* = \frac{p_i}{\sigma_o}; \quad \sigma_{ij}^* = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_o}; \quad \sigma_s^* = \frac{\sigma_s}{\sigma_o}; \quad E^* = \frac{E}{\sigma_o}; \quad T^* = \frac{T}{t_o}; \quad \alpha^* = \alpha t_o;$$

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{\lambda_o}; \quad \rho^* = \frac{\rho}{\rho_o}; \quad k^* = \frac{k r_o}{\lambda_o};$$

где $\sigma_s(\tau)$, $\rho(\tau)$ - пределы прочности и плотности материалов, составляющих "сферу" гофры.

Сделаем замену координат $r = l + x(K-l)$, $x \in [0,1]$, переводящую переменную область $[l, R]$, занимаемую "сферой" гофры, в постоянную $[0,1]$ и введем кусочно-постоянную функцию $\beta(x)$

$$\beta(x) = \left\{ \beta_s \mid x_{s-1} < x \leq x_s, \quad s = 1, \dots, n, \quad x_0 = 0, \quad x_n = 1 \right\} \quad (6)$$

характеризующую структуру слоистой сферы; количество, размеры и металл составляющих ее слоев. Значения β_s принадлежат конечному дискретному множеству

$$\beta_s \in U = \{1, \dots, k\} \quad (7)$$

соответствующие исходному набору слоев. Теперь все характеристики материалов из заданного набора будут функциями распределения $\beta(x)$ на отрезке $[0,1]$. Если $\beta_s = i$, то это означает, что s -й слой (x_{s-1}, x_s) "сферы" гофры состоит из i -го материала исходного набора т.к. структуру оболочки задали функцией $\beta(x)$, а толщина ее размерами l и R . В качестве управления рассмотрим пару $\{\beta(x), l\}$ где $\beta(x) \in U$ (7) и

$$0 < a \leq l \leq b \leq R \quad (8)$$

здесь a, b - заданные пределы, в которых может варьироваться внутренний ресурс l . Внешний ресурс гофры, не нарушая общности, можно считать фиксированным.

Задача оптимального проектирования заключается в следующем. Среди кусочно-постоянных функций $\beta(x)$ с областью значений U и чисел l требуется найти управление $\{\beta_{opt}(x), l_{opt}\}$, доставляющее минимум функционалу $F_0(\beta, l)$.

$$F_0(\beta, l) = 4\pi \int_l^R \rho(\beta) r^2 dr = \int_0^1 G_0(\beta, l) dx \quad (9)$$

при заданных ограничениях на прочность

$$\eta(x, u_r, \sigma_{rr}, T, \beta, l) \leq 0 \quad (10)$$

и критическую нагрузку потери устойчивости (разрушение)

$$p_2 - p_1 - q(\beta, l) \leq 0 \quad (11)$$

В качестве ограничения (П10) рассмотрим условие пластичности Мизеса

$$\eta(x, u_r, \sigma_{rr}, T, \beta, l) = \left| \frac{E}{1-\nu} \left(\frac{u_r}{r} - \alpha T \right) - \frac{1-2\nu}{1-\nu} \alpha_{rr} \right| - \sigma_s \leq 0$$

а в качестве нагрузки $q(\beta, l)$ - величину

$$q(\beta, l) = \frac{2h^2 s E_c}{\tau_c^2 \sqrt{3(1-\nu_c^2)}} \quad (12)$$

представляющего собой произведение внешнего критического давления при однородной изотропной "сферической" части гофры на некоторый коэффициент $s < 1$. Здесь $h = (R - l)$ - толщина оболочки, $r_c = (l + R)/2$ - радиус ее срединной поверхности; E_c, ν_c - модули упругости и коэффициенты Пуассона металла "сферы" гофры, соответственно.

Для того, чтобы использовать (12) в ограничении (11) для многослойной "сферы" гофры, в качестве E_c и ν_c рассмотрим следующие по толщине модули упругости пакета [7]

$$\nu_c = \frac{D_2}{D}; \quad E_c = \frac{1}{h} (D_1 - \nu_c D_2), \quad (13)$$

$$\text{где} \quad D_1 = \int_0^1 \frac{E(\beta)}{1-\nu^2(\beta)} (R-l) dx; \quad D_2 = \int_0^1 \frac{\nu(\beta) E(\beta)}{1-\nu^2(\beta)} (R-l) dx.$$

Теперь ограничение (11) с учетом (12), (13) можно представить в виде

$$F_2(\beta, l) = p_2 - p_1 - \int_0^1 G_2(\beta, l) dx \leq 0, \quad (14)$$

$$\text{где} \quad G_2(\beta, l) = \frac{2h^2 s E(\beta) (1 - \nu_c \nu(\beta))}{r_c^2 (1 - \nu^2(\beta)) \sqrt{3(1 - \nu_c^2)}}.$$

Для вывода необходимых условий оптимальности в задаче (1-5) требуется построить выражение для вариации целевого функционала (9) и ограничений (10) и (14) через вариации управления $\{\beta(x), l\}$. С этой целью преобразуем краевую задачу (1-5). Проинтегрируем сначала уравнение (2). Имеем

$$r^2 \lambda(x) T'(x) = c(R-l), \quad (15)$$

где штрих означает производную по координате x . Используя условие непрерывности силового потока по слоям конструкции, получаем, что константа интегрирования c будет одной и той же на всем отрезке $[0,1]$. Сделав замену

$$T(x) = cT_o(x) + T_1 \quad (16)$$

из соотношений (5), (15), (16) получим задачу Коши для определения функции $T_o(x)$

$$T_o(x) = \frac{R-l}{r^2 \lambda(x)}; \quad T_o(o) = 0. \quad (17)$$

При этом функция $T_o(x)$ как решение задачи Коши (43) непрерывна на отрезке $[0,1]$. Следовательно, непрерывна и функция температуры $T(x)$. Константа c определяется из второго условия (5) и соотношений (15), (16)

$$c = \frac{kR^2(T_2 - T_1)}{kR^2T_o(1) + 1}. \quad (18)$$

Для удобства обозначим значение функции $T_o(1)$ через γ . Значение параметра γ , как следует из уравнения (17), зависит от выбора управления $\{\beta(x), l\}$.

Условия сопряжения на внутренних границах слоев "сферы" гофры позволяет ввести непрерывные на отрезке $[0,1]$ фазовые переменные $y(x) = (u_\tau, \sigma_{rr}, T_o)$

Теперь исходную точку (1), (3), (4), (15 – 18) можно представить в виде краевой задачи относительно неизвестных $y(x)$

$$\begin{aligned} y' &= A(\beta, l, \gamma)y + B(\beta, l) \\ y_2(0) &= -p_1; \quad y_2(1) = -p_2 \quad y_3(0) = 0, \end{aligned} \quad (19)$$

где ненулевые элементы a_{ij}, b_i , матрицы A и вектора B имеют вид

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{2\nu(R-l)}{r(\nu-1)}; \quad a_{12} = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)}(R-l); \quad a_{13} = \frac{\alpha_c(1+\nu)}{1-\nu}(R-l); \\ a_{21} &= \frac{2E(K-l)}{r^2(1-\nu)}; \quad a_{22} = \frac{(2-4\nu)(R-l)}{r(\nu-1)}; \quad a_{23} = \frac{2\alpha Ec(R-l)}{r(\nu-1)}; \\ e_1 &= \alpha T_1(R-l) \frac{1+\nu}{1-\nu}; \quad e_2 = \frac{2\alpha ET_1(R-l)}{r(\nu-1)}; \quad e_3 = \frac{R-l}{r^2 \lambda}; \end{aligned}$$

Заменим локальное ограничение (10) на эквивалентное интегральное ограничение R

$$F_1(\beta, l) = 0,5 \int_{\ell}^R \left\{ \eta(*) + |\eta(*)| \right\} \tau^2 d\tau = \int_o^1 G_1(\beta, l, \gamma, y) dx = 0. \quad (20)$$

Функционал (20) имеет производную Фреше [6], т.к. функция $\eta(*)$, представляющая собой модуль от условия пластичности Мизеса, в слоистой среде может обращаться в нуль лишь на множестве нулевой меры, состоящем из конечного числа точек.

Пусть $\{\beta(x), l\}$ – допустимое управление, удовлетворяющее ограничениям (8), (14), (20). Рассмотрим возмущенное управление $\{\beta^*(x), l + \delta\}$ где $\beta^*(x)$ задается

$$\text{выражением} \quad \beta^*(x) = \begin{cases} \theta(x), & x \in M, \quad \theta \in U \\ \beta(x), & x \notin M, \quad \text{mes} M \ll 1 \end{cases} \quad \text{и} \quad l + \delta \in [a, b], \quad |\delta| \ll 1$$

Вариации управления $\beta^*(x)$ и δ порождают вариации функционалов F_o, F_1 , и F_2 , которые с использованием уравнения в вариациях и тождества Лагранжа можно записать в виде

$$\begin{aligned} \delta F_o(M, \theta, \delta) &= \int_M \{ G_o(\theta, *) - G_o(\beta, *) \} dx + B_o \delta, \\ \delta F_1(M, \theta, \delta) &= \int_M \{ L(\theta, *) - L(\beta, *) \} dx + B_1 \delta, \\ \delta F_2(M, \theta, \delta) &= \int_M \{ G_2(\beta, *) - G_2(\theta, *) \} dx - B_2 \delta, \end{aligned} \quad (21)$$

где, для краткости аргумент функций, относящиеся к невозмущенному управлению $\{\beta(x), l\}$, опущены $(* = (l, \gamma, y, \varphi))$. Здесь

$$L(\beta, l, \gamma, y, \psi) = G_1(\beta, l, \gamma, y) + \psi^T [A(\beta, l, \gamma, y) + B(\beta, l)], \quad (22)$$

$$B_0 = \int_0^1 \frac{\partial}{\partial l} G_0(\beta, l) dx; \quad B_1 = \int_0^1 \frac{\partial}{\partial l} L(\beta, l, \gamma, y, \psi); \quad B_2 = \int_0^1 \frac{\partial}{\partial l} G_2(\beta, l) dx.$$

Вектор-функция сопряженных переменных $\psi(x) = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)$ является решением краевой задачи

$$\psi^1 = -A^T(\beta, l, \gamma) \psi - \left[\frac{\partial}{\partial y} G_1(\beta, l, \gamma, y) \right]^T, \quad (23)$$

$$\psi_1(0) = \psi_1(1) = 0; \quad \psi_3 = \int_0^1 \frac{\partial}{\partial \gamma} L(\beta, l, \gamma, y, \psi) dx.$$

Составим расширенный функционал

$$Q(\beta, l) = F_0(\beta, l) + \mu F_1(\beta, l) + (\lambda_1 (F_2(\beta, l) + \xi_1^2) + \lambda_2 (a - l - \xi_2^2) + \lambda_3 (l - \varepsilon + \xi_3^2)),$$

где μ, λ_i, ξ_i - множители Лагранжа и штрафные переменные, отвечающие за учет ограничений (8), (14), (20).

Вариацию функционала с использованием выражений (21) и (21) можно записать в виде

$$\delta Q(\mu, \theta, l) = \int_M \{H(\beta, *) - H(\theta, *)\} dx + (B_0 + \mu B_1 - \lambda B_2 - \lambda_2 + \lambda_3) \delta l + 2 \sum_{i=1}^3 \xi_i \lambda_i \delta \xi_i, \quad (24)$$

где

$$H(\beta, l, y, \psi) = -G_0(\beta, l) - \mu L(\beta, l, \gamma, y, \psi) + \lambda_1 G_2(\beta, l) \quad (25)$$

Если управление $\{\beta(x), l\}$ является оптимальным (минимизирующим), то для любых допустимых управлений $[\beta^*(x), l + \delta l]$ должно выполняться необходимое условие оптимальности $\delta Q \geq 0$. Тогда из выражения (24) в силу произвольности вариаций δl и $\delta \xi_i$ получаем, что на оптимальном управлении $\{\beta_{opt}(x), l_{opt}\}$

$$B_0 + \mu B_1 - \lambda B_2 - \lambda_2 + \lambda_3 = 0, \quad (26)$$

$$\lambda_1 \left(p_2 - p_1 - \int_0^1 G_2(\beta, l) dx \right) = 0; \quad \lambda_1 \geq 0, \quad (27)$$

$$\lambda_2 (a - l_{opt}) = 0; \quad \lambda_3 (l_{opt} - \varepsilon) = 0; \quad \lambda_2 \geq 0; \quad \lambda_3 \geq 0, \quad (28)$$

$$H(\beta_{opt}, l_{opt}, y, \psi) = \max H(\theta, l_{opt}, y, \psi) \quad (29)$$

Т.о., оптимальное управление $\{\beta_{opt}(x), l_{opt}\}$ и соответствующие ему оптимальная траектория $y(x)$ и вектор - функции сопряженных переменных $\psi(x)$ должны удовлетворять краевым задачам (10), (22) ограничениям (8), (14), (16), (27), (28), условию оптимальности (26) и почти при всех $x \in [0, 1]$, принципу максимума (29).

В практическом случае следует применять металл проката для изготовления труб с очень мелким зерном, чтобы, согласно полученным результатам, иметь слоистую оптимальную структуру.

В этом случае из-за малых межплоскостных касательных напряжений расслоение не должно происходить из-за незначительных напряжений при изгибе (изменении длины при колебаниях температуры [1]), а параметрами оптимального регулирования ($\psi(x)$) будут скорость проката, напряжение обжима, температура заготовки, учет термодиффузии и градиентной диффузии при действии градиентов температуры и напряжения при прокате.

Литература

1. Семенов Я.С., Скачков Ю.Б., Соловьева А.Я. О влиянии изменений температуры воздуха на эксплуатационные свойства трубопроводов // Международный научный журнал. 2015, №11(42), ЧЗ, 54-37 с.
2. Семенов Я.С. Исследование аварийных ситуаций на северном газопроводе за период более 30 лет. в печати.
3. Константинов И.П., Гурьянов И.Е. Расчетная оценка усилий и напряжений на деформированных участках газопровода Мастах-Якутск // Криосфера Земли, 2001, т. V, №2, с. 68-75.
4. Ларионов В.П., Семенов Я.С., Касьянов С.Г. Влияние температуры вязкохрупкого перехода на геометрию вершины трещины и напряжения // Сиб.физ.-техн.журн.- 1993, № 3.- С.7-14.
5. Габышева Л.Н., Каниболотский М.А. Оптимизация массы слоистой сферической оболочки, синтезируемой из конечного набора материалов // Общие задачи и методы исслед. Пласт. И вязкоупругих материалов и конструкций. Свердловск, 1986. - С. 29-35.
6. Хог Э.Д., Арора Я.С. Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции. М: Наука, 1983.
6. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. М.: Наука, 1978.
7. Образцов И.Ф., Васильев В.В., Безнаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1977.

References

1. Semenov Ja.S., Skachkov Ju.B., Solov'eva A.Ja. O vlijanii izmenenij temperatury vozduha na jekspluatacionnye svojstva truboprovodov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. 2015, №11(42), Ch3, 54-37 s.
2. Semenov Ja.S. Issledovanie avarijnyh situacij na severnom gazoprovode za period bolee 30 let. v pechati.
3. Konstantinov I.P., Gur'janov I.E. Raschetnaja ocenka usilij i naprjazhenij na deformirovannyh uchastkah gazoprovoda Mastah-Jakutsk // Kriosfera Zemli, 2001, t. V, №2, s. 68-75.
4. Larionov V.P., Semenov Ja.S., Kas'janov S.G. Vlijanie temperatury vjazkohrupkogo perehoda na geometriju vershiny treshhiny i naprjazhenija // Sib.fiz.-tehn.zhurn.- 1993, № 3.- S.7-14.
5. Gabysheva L.N., Kanibolotskij M.A. Optimizacija massy sloistoj sfericheskoy obolochki, sinteziruemoj iz konechnogo nabora materialov // Obshhie zadachi i metody issled. Plast. I vjazkoupругih materialov i konstrukcij. Sverdlovsk, 1986. - S. 29-35.
6. Hog Je.D., Arora Ja.S. Prikladnoe optimal'noe proektirovanie. Mehanicheskie sistemy i konstrukcii. M: Nauka, 1983.
6. Fedorenko R.P. Priblizhennoe reshenie zadach optimal'nogo upravlenija. M.: Nauka, 1978.
7. Obratcov I.F., Vasil'ev V.V., Beznakov V.A. Optimal'noe armirovanie obolochek vrashhenija iz kompozicionnyh materialov. M.: Mashinostroenie, 1977.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.301

Семенов Я.С.¹, Соловьева А.Я.²¹Якутский научный центр, ²Арктический государственный институт культуры и искусства, кафедра маркетинга**ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ФАКТОРА АТОМОВ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ***Аннотация*

Рассматриваются влияние наноразмерных легирующих элементов и их количества на механические свойства, в частности на критическую температуру вязкохрупкого перехода. Показано, что как размер, так и количественное содержание этих элементов являются решающим в служебных свойствах неорганических материалов.

Semenov Ya.S.¹, Soloveva A.Ya.²¹Yakut science center, ²Arctic state institution, marketing Department**ABOUT NANOSIZE ALLOW ON WORK PROPERTES NONORGANIC MATERIALES***Abstract*

We are investigation influence nano - size elements on mechanical properties non organic materials. There are elements strongly on mechanical properties on example ductile-brittle temperature. This is elements on size and quantitative increase critical ductile-brittle temperature.

Введение. Хорошо известно [1-2], что охрупчивание сильно зависит от вида и количества легирующего элемента, который является наноразмерным наполнителем, так, например, малое количество кремния (менее 0,2%) значительно снижает критическую температуру охрупчивания, а увеличение его содержания резко повышает критическую температуру охрупчивания, снижая механические свойства и чувствительность к удару.

Вместе с тем критическая температура охрупчивания должна зависеть и от размеров легирующих химических элементов или длин химических связей. Так, например, введение редкоземельных элементов в износостойкие покрытия, повышая износостойкость, при низких климатических температурах вызывает хрупкий износ сколом [3].

Поэтому целью данной работы является - показать влияние наноразмерного фактора и количества данного легирующего элемента на критическую температуру охрупчивания.

Метод и методика эксперимента. Одним из чувствительных методов оценки степени ковалентности (механизма охрупчивания) является метод измерения чисел микротвердости хорошо развитый в работах по минералогии и в области охрупчивания, как метод регистрации порога вязкохрупкого перехода.

Для оценки влияния размерного эффекта на критическую температуру вязкохрупкого перехода необходимо выбрать химические элементы, образующие ковалентные химические связи, в соответствии с механизмом вязкохрупкого перехода, различные атомные размеры и различное их содержание.

Как указывалось в работах [1-2], повышающими критическую температуру вязкохрупкого перехода являются кремний (Si), германий (Ge), олово (Sn), которые имеют различные атомные размеры и образуют ковалентные химические связи в соответствии с механизмом вязкохрупкого перехода. Это должно позволить выявить влияние размерного фактора на критическую температуру вязкохрупкого перехода. А их различное содержание определит влияние количества этих элементов на критическую температуру вязкохрупкого перехода.

Так, что измерения чисел микротвердости по температуре в окрестностях критической температуры вязкохрупкого перехода позволит решить обе задачи.

Материалы и методика эксперимента. Для однозначной оценки влияние размерного фактора на критическую температуру вязкохрупкого перехода готовились бинарные сплавы с ОЦК – кристаллической структурой. Это сплавы кремния с железом, германия с железом, олова с железом с различным содержанием этих элементов, повышающие критическую температуру вязкохрупкого перехода [1-2].

Образцы для исследований готовились по общепринятой методике из сплавов систем Fe-Si, Fe-Ge, Fe-Sn, образующие твердые растворы замещения.

Для этого получены α -твердые растворы Si, Ge, Sn в матрице Fe, которые подтверждены рентгеноструктурным анализом.

После гомогенизирующего отжига в вакууме не ниже 10^{-6} мм. рт. ст. проведен по методике [3] анализ распределения примесей на микронзонде «Комебакс», который подтвердил относительно равномерное распределение примесей.

Показателем склонности данных сплавов к хрупкому разрушению являлось $T_{кр}$ при испытаниях образцов в соответствии с ГОСТ 0454-78 V.

Измерения микротвердости проводились на микротвердомере ПМТ-3 со специально разработанной температурной приставкой. Измеренные значения чисел микротвердости резко изменяются для всех составов и примесей при $T_{кр}$ ВХП, полученных при испытаниях образцов данных составов по ГОСТу 9454-78 тип V (рис.1.а.б.в.).

При увеличении количества *Si*, *Ge*, *Sn* микротвердость и $T_{кр}$ ВХП повышаются (рис.2).

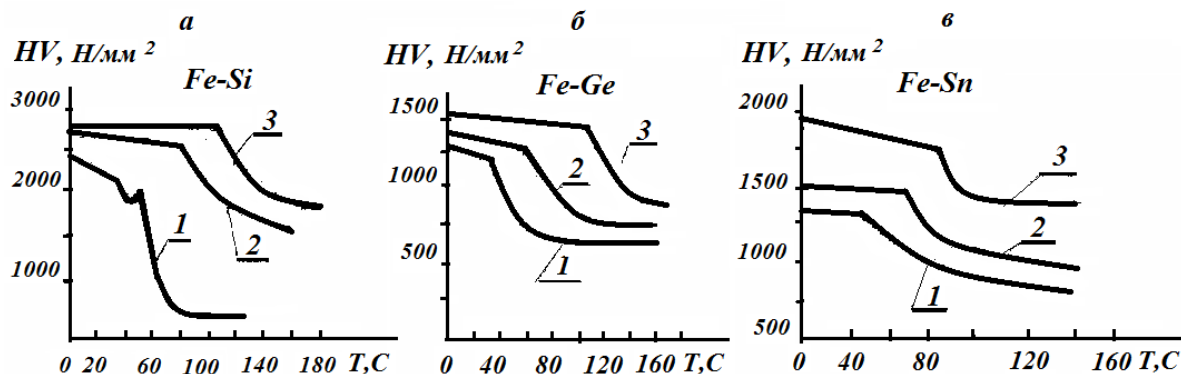


Рис. 1.(..в). Числа микротвердости в окрестностях температуры ВХП: а – Si (0,2;0,5;0,8): б – Ge – (0,2;0,5;0,8): Sn – (0,2;0,5;0,8):

Расчет степени ковалентности, проведенный по Моосу ($K = HV \cdot d / \alpha \cdot W_A \cdot W_B$) для данных бинарных сплавов.

Вычисленные из значений чисел микротвердости степень ковалентности показывает, что при $T_{кр}$ ВХП она изменяется скачком, что соответствует возрастанию скачком направленной составляющей химической связи (рис.2.а.б.в.).

При увеличении содержания ковалентных *Si*, *Ge*, *Sn* критическая температура ВХП возрастает (см. рис.3). Кроме того, четко выделяется размерный фактор влияния примесных атомов (рис.3.), показывающий зависимость критической температуры вязкохрупкого перехода от размера атомов. Так, например, для достижения $T_{кр} = 80^\circ\text{C}$, для олова ~ 1,5%, для германия ~ 2%, для кремния ~ 4%.

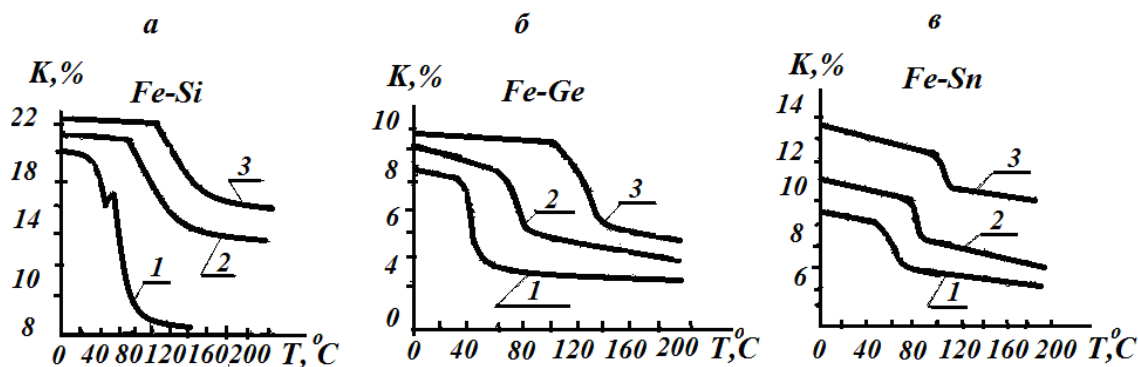


Рис. 2. – Значения степени ковалентности в окрестностях температуры ВХП: а - Si (0,2;0,5;1,0): б – Ge – (0,2;0,5;0,8): Sn – (0,2;0,5;0,8):

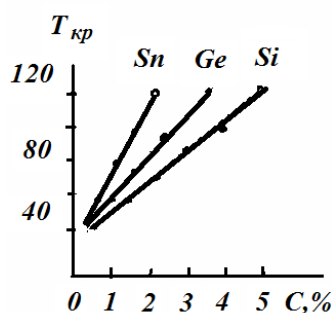


Рис. 3 – Значения критической температуры вязкохрупкого перехода в зависимости от содержания Si, Ge, Sn и их размеров

Повышение количества ковалентных химических элементов *Si*, *Ge*, *Sn*, также увеличивает направленную составляющую химической связи, повышая $T_{кр}$ ВХП (хладноломкости) (рис.3). Это может происходить по ниже приведенным причинам.

Известно [4-6], что прочность конструкционного материала сильно зависит от подвижности дислокаций или скорости зарождения новых, определяемых напряжениями типа Пайерлса-Набарро. При повышении температуры силы Пайерлса-Набарро изменяются по причинам двоякого рода:

1. Из-за некогерентного теплового движения атомов, "размазывающего" потенциальный рельеф вдоль плотноупакованных рядов. При этом уменьшение напряжений Пайерлса-Набарро определяется множителем вида $1 - \alpha(u/b)^2$, где u - смещение атомов, b - вектор Бюргерса дислокации, α - числовой множитель.

2. Из-за когерентного теплового движения атомов, соответствующего колебанию дислокации и помогающего ей преодолеть энергетические барьеры Пайерлса-Набарро.

Подвижность дислокаций в ковалентных кристаллах, очень низка из-за высокого значения модуля сдвига ($\sim 10^{12}$ эрг/см² для *Si*). То есть при легировании ковалентными элементами (*Si*, *Ge*, *Sn*) матрицы *Fe* происходит увеличение направленной составляющей химической связи (рис.3.а.б.в.), а повышение температуры приводит к их "разрушению", при $T_{кр}$ ВХП, направленных химических связей и уменьшения модуля сдвига, т.е. микротвердости (рис. 1-3).

Тогда можно предположить, что в растянутые, из-за размеров атомов примеси зоны, втекают дислокации, образуя зародыши микротрещин. При нагружении или ударной нагрузке из этих микротрещин (концентраторы напряжений) развиваются катастрофические трещины вязкохрупкого разрушения. Т.е. чем больше размером легирующий атом, тем крупнее микротрещина и ей нужно меньшее усилие для зарождения катастрофической трещины вязкохрупкого разрушения.

А количество таких легирующих элементов создают большее количество микротрещин, а значит, и повышают критическую температуру вязкохрупкого перехода с увеличением их содержания.

Таким образом, элементы образующие ковалентные (направленные) химические связи сильно изменяют критическую температуру вязкохрупкого перехода, повышая ее как от размера атомов химического элемента, так и от их содержания в матрице легируемого железа (см. рис.3).

А создание теории действия размерного механизма вязкохрупкого перехода позволит разработать технологии создания конструкционных материалов с высокой степенью сопротивляемости хрупкому разрушению.

Особенно, если учесть экономический эффект, получаемый при разработке технологий создания износостойких и хладостойких сталей с использованием редкоземельных элементов [7].

Литература

1. Шульте Ю.А. Хладостойкие стали.- М.: Металлургия, 1970.- 224 с.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. - М.: Металлургия, 1985.- 408 с.
3. Семенов Я.С., Попова С.К. Фазовый состав и распределения легирующих элементов в переходном слое // Труды Межд. Конф. «Deformation&Fracture of Materials and Nanomaterials» 2007. p.393
4. Саррак В.И., Суворова С.О., Грикуров Г.Н. О механизме влияния легирующих элементов на пластичность сплавов системы железо-хром-марганец со структурой аустенита // ФММ.- 1991, № 10.- С.182-186.
5. Саррак В. И., Энтин Р. И. Изучение температурной зависимости предела текучести железа в связи с взаимодействием дислокации с атомами внедрения. «Докл. АН СССР», т. 146, 1962. №4, стр. 810.
6. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Микромеханизмы разрушения металлов. - М.: Наука, 1991.- 367с.
7. Яковлев И.И., Семенов Я.С. К повышению износостойкости и устранение износа сколом (в печати)

References

1. Shul'te Ju.A. Hladostojkie stali.- M.: Metallurgija, 1970.- 224 s.
2. Gol'dshtejn M.I., Grachev S.V., Veksler Ju.G. Special'nye stali. - M.: Metallurgija, 1985.- 408 s.
3. Semenov Ja.S., Popova S.K. Fazovyj sostav i raspredelenija legirujushhih jelementov v perehodnom sloe // Trudy Mezhd. Konf. «Deformation&Fracture of Materials and Nanomaterials» 2007. p.393
4. Sararak V.I., Suvorova S.O., Grikurov G.N. O mehanizme vlijaniya legirujushhih jelementov na plastichnost' splavov sistemy zhelezo-hrom-marganec so strukturoj austenita // FMM.- 1991, № 10.- S.182-186.
5. Sararak V. I., Jentin R. I. Izuchenie tempera-turnoj zavisimosti predela tekuchesti zheleza v svjazi s vzaimo-dejstviem dislokacii s atomami vnedrenija. «Dokl. AN SSSR», t. 146, 1962. №4, str. 810.
6. Novikov I.I., Ermishkin V.A. Mikromehanizmy razrushenija metallov. - M.: Nauka, 1991.- 367s.
7. Jakovlev I.I., Semenov Ja.S. K povysheniju iznosostojkosti i ustranenie iznosa skolom (v pechaty)

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.105

Серикова Ю.И.¹, Князев В.Н.²

¹ORCID: 0000-0002-4959-321X, магистрант, Пензенский государственный университет;

²кандидат технических наук, доцент,

Пензенский государственный университет;

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Аннотация

В статье поднимаются вопросы высоконадежной аутентификации пользователей информационных систем. Особое внимание уделяется актуальным проблемам безопасности биометрических систем аутентификации и излагается авторский подход к повышению надежности таких систем. Рассматриваются биометрические технологии, которые можно использовать для сохранности информационных ресурсов (защищенности законных прав владельцев ресурсов), их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: биометрические средства защиты информации, биометрический образ, аутентификация, уязвимости систем контроля и управления доступом, шифр Вермана.

Serikova Y.I.¹, Knyazev V.N.²

¹ORCID: 0000-0002-4959-321X, Postgraduate student, PenzaStateUniversity;

²PhD in Engineering, associate professor,

Penza State University;

TOPICAL ISSUES ON PROVIDING BIOMETRIC SYSTEM SECURITY

Abstract

The article deals with the problems of safe and highly reliable recognizing the identity of Information Management System (IMS) users. It gives particular attention to the topical problems of biometric system security and dwells upon the author's approach to the problem of enhancing security in biometrics-based authentication systems. The article also touches upon the biometric technologies that can be used to provide information security, as well as their advantages and disadvantages.

Keywords: biometric information security features, biometric parameters, identification (authentication), weak points of the access control system, one-time pad (Vernann Cipher).

The need to protect information systems is increasing. It is conditioned by the rise in the cost of information, its importance as well as a rapid development of information technologies. Information is referred to as both exposed and protected by the state data on the military, foreign-policy, economic, intelligence, reconnaissance, investigation and other activities of the country, unauthorized spread of which can damage national security [1].

Today one of the most important tasks to enhance information systems is to intensify the development of methods and means of data access control. Identification or authentication is one of the main functions to control data access. Biometric characteristics possess such properties as reliability, authenticity and usability.

Biometric technologies are developed for security applications in the systems of different civil and military facilities in all developed countries [2]. Biometric information security techniques are divided into three main groups: static, dynamic and complex (multimodal) (Fig.1). Static methods are based on analyzing a unique physiological parameter, dynamic ones - a behavioral feature and the latter include various biological characteristics. Biometric technologies have become an essential component of both national and international IT-market. The biometric technology most widely used today is papillary pattern recognition (43.6%). Then there is face recognition – 19%, interim biometric technologies – 11.40%, hand recognition – 8.8%, iris recognition – 7.10%, voice analysis and multi biometric technologies – 4%, handwriting signature – 1.70% (Fig.2).

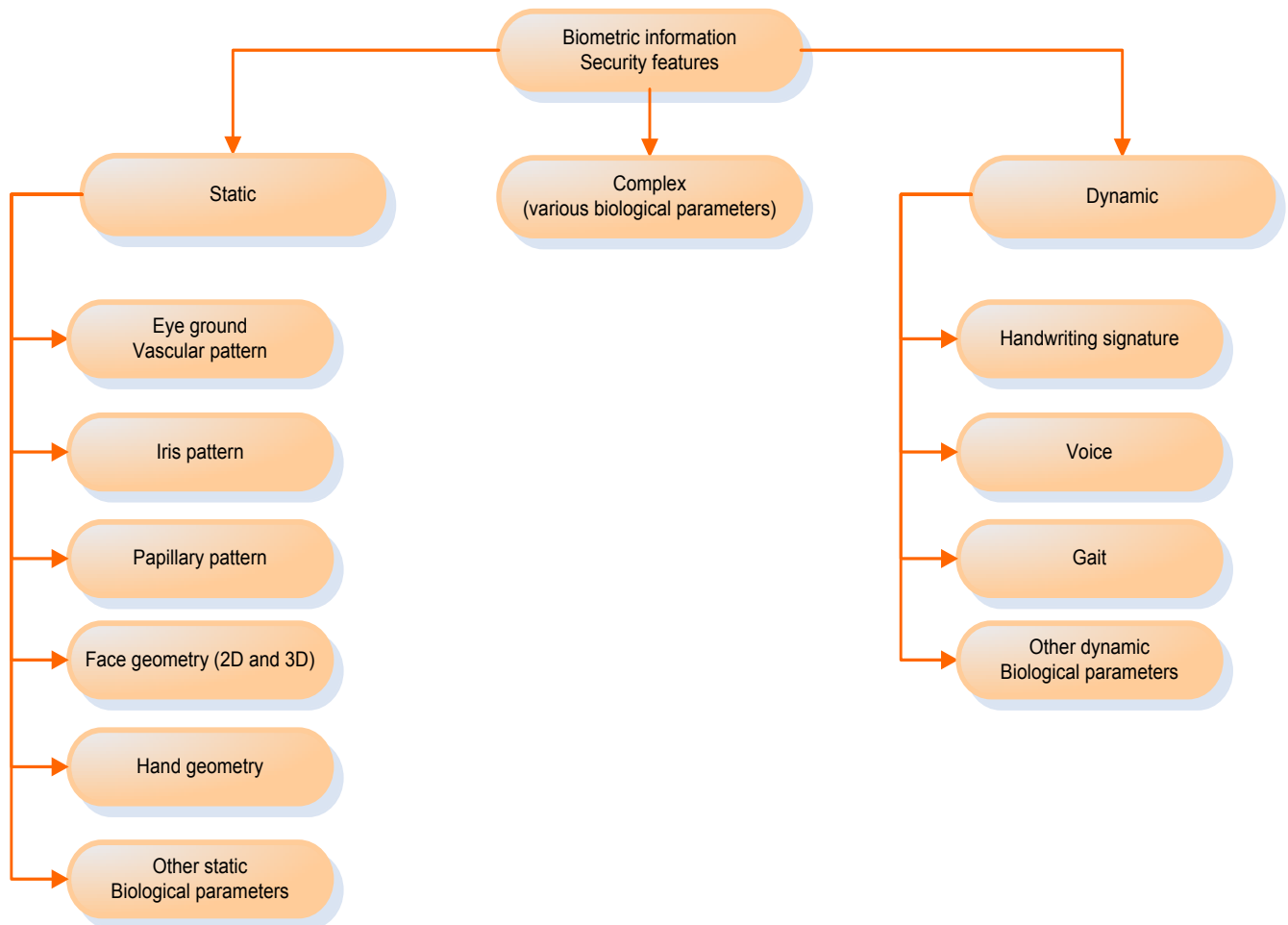


Fig.1 – Biometric information security features

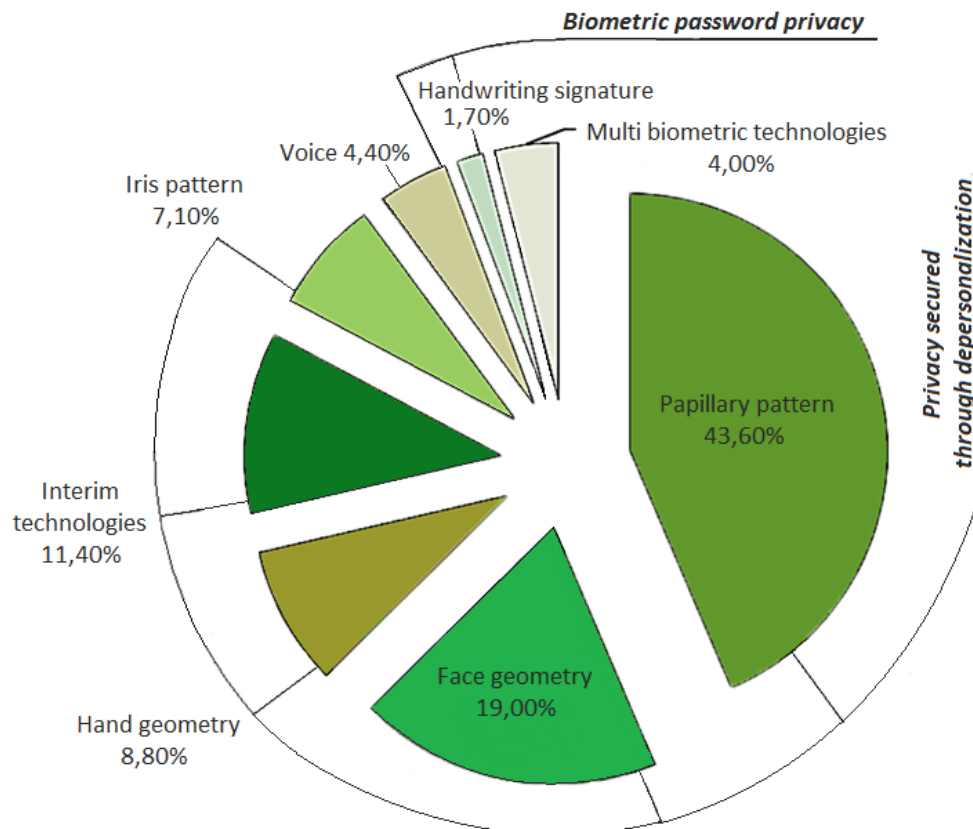


Fig.2 – Market distribution of biometric technologies

There is a definite opinion on biometric technologies today. Among the advantages of static methods is a relative simplicity of identification (Users don't need to make any special efforts or to have certain psychological condition to measure static parameters.). But it should be noted that static methods are characterized by such essential drawbacks as invariability and

exposure of human static biometric parameters (there is a possibility of identifier forgery), high cost of current biometric technologies and a high probability of False Acceptance Rate (FAR) at a $10^{-7} - 10^{-12}$ level [3] (physical limits of the uniqueness of personal static parameters prevent image element recognition from being more accurate).

These drawbacks can be eliminated through the use of dynamic methods, which make it possible to change a scanned image element. It should be noted that dynamic methods are not very expensive to implement and enable (for some systems) biometric image elements to be depersonalized. However, the most serious drawback of dynamic methods is human mental and physiological instability. The advantages and disadvantages of the major biometric technologies are presented in table 1.

Table 1 – The advantages and disadvantages of the major biometric technologies

Biometric technology	Advantages	Disadvantages
Eye grounds vascular pattern	Singularity and originality	High price (US \$4000)
	Static algorithm reliability	Poor accessibility of ready solutions
	Forgery non-susceptibility	Human factor
	Usability	Time for hacking an unknown biometric image element: from 2,7 hours to 12 days
Iris pattern	Singularity and originality	High price (US \$5000)
	Static algorithm reliability	Poor accessibility of ready solutions
	Damage control	Human factor
	Usability	Forgery susceptibility Time for hacking an unknown biometric image element: from 1,5 minutes to 24 hours
Papillary pattern recognition (AFIS)	Singularity and originality (if to take minutiae scanning)	Dead areas (fingerprint papillary pattern is easy to damage)
	Static algorithm reliability	Forgery susceptibility
	Post damage recovery	Environmental disturbances and human factor
	Usability	Time for hacking an unknown biometric image element: from 10 seconds to 160 minutes
	Low price	
Face geometry (2D and 3D)	Singularity and originality	Facial expression changes and specks spoil statistical reliability
	Low price	Forgery susceptibility
	Static algorithm reliability	Human factor
	Usability	Time for hacking an unknown biometric image element: 0 seconds
Hand geometry	Singularity and originality	Forgery susceptibility
	Low price	Time for hacking an unknown biometric image element: 0 seconds
	Static algorithm reliability	
	Usability	Human factor
Handwriting signature	Singularity and originality	Human factor
	Low price (a smart phone or a pad)	
	Forgery non-susceptibility	
	Usability	
	Time for hacking an unknown biometric image element: from 10^{11} years to 10^{21} years	
Voice	Singularity and originality	Environmental disturbances and human factor
	Low price (a sound card and a microphone)	
	Usability	Forgery susceptibility
	Time for hacking an unknown biometric image element: from 10^5 years to 10^{13} years	

According to research data [4] highly-reliable biometric technologies put together in table 1 are presented by the two last technologies based on handwriting recognition and voice analysis. Biometric parameters are unique identifiers, but the problems of their secure storage and protection from forgery and interception are still unsolved. Hacking can take place if to use the weak points of the biometric system. Biometric recognition system functionality is presented in figure 3[5]. All the weak points of the access control system are marked with numerals.

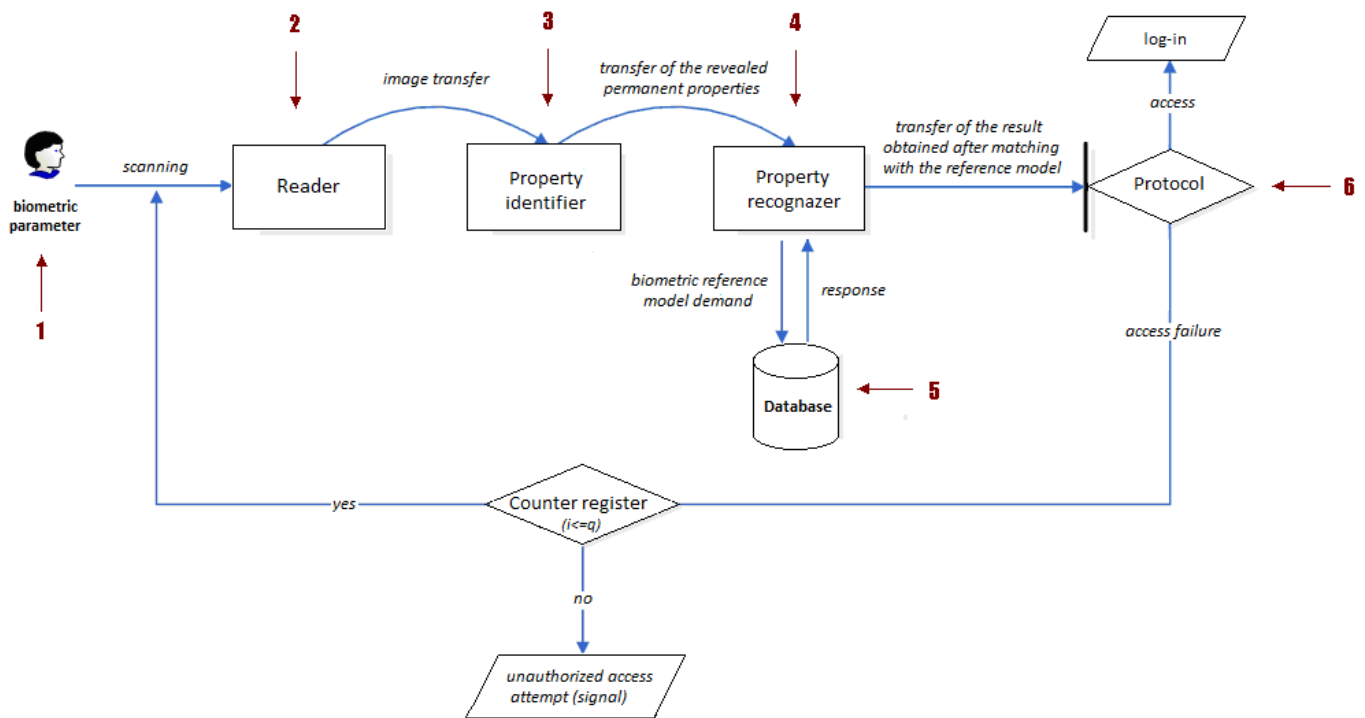


Fig.3 – Weak points of the access control system

The following types of biometric system weak point attacks are currently revealed:

1. Biometric image attack;
2. Attacks through the retransmission of real-world information (interception);
3. Reference model database manipulation;
4. Attacks through reverse engineering.

Tables 2 – 5 describe some biometric technologies to attack the biometric image elements and contain the information on the ways of attack repelling.

Table 2 – Biometric iris recognition system

Attack	Solution
Biometric image forgery	Spectrographic (disadvantage: biological simulator can be covered with the staff which has the same reflection as a true eye) and photonic methods [6]
	Detection of apple of the eye small-amplitude vibration [6]
	Conjunctival reflex to external factors
	Detection muscular tonus of eyelid
	Eye micro motion analysis algorithm [6]
	Purkinje shift [6]
	Fourier spectrum analysis algorithm [7]
Compulsion	Identification control
	Support of the “reader” button to warn against system access under compulsion of a stranger

Table 3 – Biometric papillary pattern recognition system (AFIS)

Attack	Solution
Biometric image forgery	Support of finger temperature by measurement system [8]
	Support of fingertip pulse by measurement system [9]
	Support of image electric conduction by measurement system
	Support of skin dielectric resistance by measurement system [10]
	Doppler mapping method
	Vibration algorithm to biological tissue elasticity in frequency of resonance
	Nuclear magnetic resonance spectroscopy algorithm [11]
Compulsion	Identification control
	Support of the “reader” button to warn against system access under compulsion of a stranger

Table 4 – Biometric face geometry (2D and 3D) recognition system

Attack	Solution
Biometric image forgery	Spectrum analysis algorithm [12]
	Image depth analysis algorithm [13]
	Optical flow method[14]
	Face expression analysis algorithm[15]
	Gabor filters image analysis algorithm[16]
	“Request-response” method[17]
	Dopplermapping method
	Eyeballmotion analysis algorithm [18],[19]
	Vibrationalgorithm tobiological tissue elasticity in frequency of resonance
	The algorithm based on latent semantic analysis (LSA) and canonical correlation analysis (CCA)[20]
Compulsion	Identification control
	Support of the “reader” button to warn against system access under compulsion of a stranger

Table 5 – Biometric voice analysis system

Attack	Solution
Biometric image forgery	Method based on biometric image convertible action (While logging-in the system demands a different display of a biometric image property.)
	“Reader” cryptographic chip support
	The algorithm based on latent semantic analysis (LSA) and canonical correlation analysis (CCA) [20]
	Combined method based on factor analysis, signal processing and signal description of feature [21]
Compulsion	Identification control
	Support of the “reader” button to warn against system access under compulsion of a stranger

Present-day “readers” utilize Wiegand Protocol and Open Supervised Device Protocol (OSDP). They both meet the requirements of State Standard Specification ISO/IEC 24713-1-2013 [22]. It should be noted that these protocols have some drawbacks (Table 6).

Analyzing the IMS safety risks, one needs to pay attention to such an important aspect as database operational protection. How should one prevent a malicious hacker from gaining access to a person’s biometric data? It is a difficult problem to solve. Trying to do it one should deal with each database management system (Oracle, MySQL, Sybase, etc.) separately.

Table 6 – The advantages and disadvantages of Wiegand Protocol and Open Supervised Device Protocol (OSDP)

Protocol	Insufficient security	Solution
Wiegand Protocol	No identification made	Enclosure of Handshaking Protocol (CHAP) in Wiegand Protocol
		Identification session recording
	Easy interception	Vernann Cipher traffic encryption (Claude Shannon proved absolute code resistance in 1945)
	Poor survivability in case of the “Man in the Middle” (MITM) attack	MQV enclosure with support of HW mutual authentication
OSDP	Easy interception	Vernann Cipher traffic encryption (Claude Shannon proved absolute code resistance in 1945)
	Poor survivability in case of the “Man in the Middle” (MITM) attack	MQV enclosure with support of HW mutual authentication
	Elimination from heavily secured cryptographic “readers”	Enclosure of SCP in OSDP

Before enhancing database security, one should give consideration to the security of database information.

There are two methods to protect database biometric reference models:

1. Transformation of biometric parameters and their cryptographic protection;
 2. Storage of certain properties rather than a biometric image itself (e.g. neuronet weight factors storage solely).
- The proposed solutions thereby help to enhance the biometric system efficiency and security.

Conclusion

Information technologies are being widely used in today's IT world. The problem of information security is thus becoming topical. New methods to protect information systems are developed every year. They help to improve the system safety and resistance. One of the ways to provide information security is identification (authentication).

The most rapidly developed information security methods are biometric ones. In spite of the fact that foreign systems more often use papillary pattern recognition, it has been found experimentally that this method cannot be used in high-level military identification systems in the field in different weather conditions [23].

We have analyzed current and prospective biometric technologies and can make the following conclusion: handwriting signature is the safest and most reliable biometric technology. The time for hacking a biometric image element of this kind is from 10^{11} to 10^{21} years [3,4]. Future urgently needed researches will concentrate on developing safe and highly reliable smart techniques using the solutions proposed in this article.

References

1. Serikova, Y.I. Information security in modern IMS / Y.I. Serikova, I.Y. Balashova, D.V. Taktashkin // VI Proceedings of the international scientific-technical conference – Penza: High Professional Education MSUTM them. K.G. Razumovsky – 2015– P.158-160.
2. Knyazev, V.N. Improving the reliability of the authentication system by compensating for systematic error normal deviation, computational on small samples biometric parameters/ V.N. Knyazev, Y.I. Serikova // III Proceedings of the international competition – Lipetsk: Scientific partnership «Argument» – 2016 – P.55-60.
3. Akhmetov, B.S., Volchihin, V.I., Ivanov, A.I., Kartbayev, T.S., Malygin, A.Y. Highly reliable multi-biometric authentication of human-being personality to support citizens interaction with E-government and E-business // III World conference on information technology. 14-16 November, 2012, University of Barcelona, Faculty of Library and Information Science, Barcelona, Spain. P. 74 – 81.
4. Serikov, I.V. Status and prospects of development of biometric authentication technologies / I.V.Serikov, Y.I.Nikitichenko, A.A.Vakhromeev // Reliability and quality: Proceedings of the International Symposium. – 2010. – Volume 2. - P. 226-228.
5. Knyazev, V.N. Research significance multidimensional sampling in evaluating the biometric / V.N. Knyazev, Y.I. Serikova // Questions electronics. Series "display special equipment and control systems" (SOIU), 2015. - Issue 2 – P. 114-123.
6. Daugman, J.G. Iris Recognition and Anti-spoofing Countermeasures // VII International Biometrics Conference, London, 2004.
7. Daugman, J.G. High confidence personal identification by rapid video analysis of iris texture // Proc. Of the IEEE, International Carnahan conference on security technology–1992–P.50-60.
8. Osten, D.W., Carim, H.M., Areson, M.R., Blan, B.L. Biometric. Personal authentication system. Minnesota mining and Manufacturing Company: Patent US #5,719,950, February'17, 1998.
9. Lapsley, P.D., Less, J.A., Pare, D.Jr., Hoffman, N.// Anti-Fraud biometric sensor that accurately detects blood flow, Smart Touch, LLC: Patent US #5,737,439, April'7, 1998.
10. Kallo, P., Kiss, I., Podmaniczky, A., and Talosi, J.: Detector for recognizing the living character of a finger in a fingerprint recognizing apparatus, Dermo Corporation, Ltd. U.S. Patent #6,175,64, January'16, 2001.
11. Nixon, K. A., Rowe, R. K., Allen, J., Corcoran S. et al. Novel spectroscopy-based technology for biometric and liveness verification//Proc. SPIE. Biometric technology for human identification, 2004. V. 5404. P. 287-295.
12. Wang, Y., Tan, T., Jain, A. K. Live Face Detection Based on the Analysis of Fourier Spectra//Proc. SPIE. V. 5404, Biometric Technology for Human Identification. 2004. P. 296 — 303.
13. Choudhury, T., Clarkson, B., Jebara, T., Pentland, A. Multimodal person recognition using unconstrained audio and video//International Conference on AVBPA, 1999. P. 22-28.
14. Aggarwal, J. K., Nandhakumar, N. On the Computation of Motion from Sequences of Images — A Review//Proc. IEEE, 1998. V. 76. P. 917-935.
15. Bigun, J., Fronthaler, H., Kollreide, K. Assuring liveness in biometric identity authentication by real-time face tracking, CIHSPS2004//IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety, Venice, Italy, 21-22 July. P. 104-112. IEEE Catalog No. 04EX815, 2004.
16. Speakers, K.A., Spitsin, V.G., Hamker, F. Finding settings and delete the constant component of the Gabor filter for image processing/ K.A. Speakers, V. G. Spitsin, F. Hamker // Proceedings of TPU. - Tomsk: TPU, 2011. - T. 318, №5: Management. Computer Science and Informatics. - P. 57-59
17. Access the protected resource:: <http://www.identix.com/>
18. Hyung-KeunJee, Sung-Uk Jung, Jang-HeeYoo. Liveness Detection for Embedded Face Recognition System//Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 2006. V. 18. P. 29-32.
19. Deng, G., Coo, B., Miao, J., Gao, W., Zhao, D. A Liveness Check Algorithm Based on Eye Movement Model Using SVM// The Chinese Journal of Computer aided design and computer graphics (in Chinese language). 2003. V. 15. №7. P. 853-857.
20. Chetty, C., Wagner, M. Liveness detection using cross modal correlations in face-voice person authentication// INTERSPEECH-2005. 2005. P. 2181-2184
21. Access the protected resource: <http://www.dslib.net/zaw-informacia/metodika-i-kompleks-sredstv-ocenki-jeffektivnosti-autentifikacii-golosovymi.html>
22. Requirements of State Standard Specification ISO/IEC 24713-1-2013 «IT. Biometric profiles to interact and exchange data. Part 1. The overall architecture of a biometric system and biometric profiles».
23. Serikova, N.I., Malygin, A.Y., Volchihin, V.I., Oleynik, Y.I. «Biometrics -11-P»: A final report on the research work – Penza: High Professional Education PSU – 2012– P.1- 64.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.143

Смертина Е.С.¹, Турунова Е.В.²¹Кандидат технических наук, доцент, ²студент, Дальневосточный федеральный университет**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ НА ПРИМЕРЕ МАЙОНЕЗНОЙ ПРОДУКЦИИ****Аннотация**

В статье проанализированы проблемы безопасности пищевой продукции в России, изучено состояние развития майонезного рынка, проведена органолептическая и физико-химическая оценка качества майонезных соусов в соответствии с нормативной документацией, проведено исследование по показателям безопасности на соответствие требованиям ЕАЭС. Сделан анализ полученных результатов исследования и указаны возможные причины нарушения качества продукта. Разработаны рекомендации для торговых предприятий, с целью реализации безопасных продуктов питания населению.

Ключевые слова: безопасность продуктов питания, майонезный соус, качество, рынок.

Smertina E.S.¹, Turunova E.V.²¹PhD in Technical Sciences, associate professor, ² Student, Far Eastern Federal University**ANALYSIS OF CURRENT STATE OF PROBLEMS OF FOODSTUFF SAFETY FOR ASSESSMENT OF QUALITY REQUIREMENTS, CONSIDERING AN EXAMPLE OF MAYONNAISE PRODUCTS****Abstract**

The article deals with the food safety problems in Russia as well as mayonnaise market development. The mayonnaise sauces quality organoleptic evaluation and physical and chemical assessment are made in accordance with the normative references as well as the research on safety indicators according to EAEU requirements. The investigation results are analyzed and the possible reasons of food quality defect are indicated. The recommendations for trade enterprises are worked out for safe food implementation.

Keywords: food safety, mayonnaise sauce, quality, market.

С вступлением России в Таможенный союз ЕАЭС ужесточились требования к производителям продуктов питания, к качеству и безопасности, в связи с этим в настоящее время тема безопасности пищевой продукции в России является актуальной для исследования. С 1 июля 2013 г. на территории Российской Федерации введен в действие технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) он содержит обязательные требования по разработке, внедрению и поддержанию на предприятии производителя пищевой продукции, основанных на принципах ХАССП, распространяется на все виды пищевой продукции и в настоящее время является основным направлением в области таможенного регулирования в странах ЕАЭС.

Актуальность проблемы безопасности продуктов питания с каждым годом увеличивается, это связано, с тем, что именно обеспечение безопасности продуктов питания является одним из главных факторов, определяющих здоровье людей. Под безопасностью продуктов питания следует понимать отсутствие опасности для здоровья человека при их употреблении, как с точки зрения острого негативного воздействия (пищевые отравления и пищевые инфекции), так и с точки зрения опасности отдаленных последствий (канцерогенное, мутагенное и тератогенное действие) [1]. Качество и безопасность продуктов питания - одна из глобальных проблем, которая приводит к ухудшению здоровья и качества жизни населения. Стабильно высокое качество, натуральность и полезность продуктов является основными и главными аспектами на рынке пищевых продуктов [2].

Современный рынок в России предлагает потребителям майонезные соусы, с множеством вкусов и добавок, которые способны удовлетворить самые разнообразные запросы. В настоящее время изучение российского рынка майонезных соусов актуально, это связано с тем, что рынок молод, впервые в 2009 году разработана нормативная документация, которая введена в действие с 1 января 2011 года, но с каждым годом увеличиваются объемы производства, а также для удержания своих позиций на рынке производители постоянно расширяют ассортимент продукции майонезных соусов.

В настоящее время на рынке существует серьезная конкурентная борьба, требования потребителей постоянно растут, все это обуславливает необходимость разработки и внедрения организациями программ повышения качества.

Большинство предприятий пищевой промышленности находится в руках предпринимателей, для которых эффективность бизнеса измеряется величиной прибыли. Финансовая сторона качества заботит предпринимателей меньше всего: мало кто хочет вкладывать деньги в качество. На практике нередко случается, что предприятие, имея сертифицированную систему менеджмента качества, выпускает некачественную продукцию, в том числе ослабевает контроль качества на безопасность. Судить об этом возможно и по резко возросшему количеству публикаций по данной проблеме [3].

Учитывая выше изложенное, цель работы – изучить информацию для потребителей, провести органолептическую и физико-химическую оценку качества майонезных соусов в соответствии с нормативной документацией, а также исследовать их по показателям безопасности в соответствии с требованиями ЕАЭС. На основании проведенного анкетирования в г. Владивостоке, по предпочтению потребителей было отобрано шесть образцов майонезных соусов для исследования: Майонезный соус «Салатный» МЖК «Хабаровский», Соус майонезный «Сырный» Мечта хозяйки, Соус майонезный «Сливочно-чесночный» Мечта Хозяйки, Майонезный соус «Салатный» Махеев, Майонезный соус «Эконом провансаль» Нежный, Майонезный соус «Майонезно-чесночный» Балтимор.

На первом этапе экспертизы был проведен визуальный осмотр упаковки и маркировки отобранных образцов и изучена информация для потребителей в соответствии с ТР ТС 024/2011, анализируя результаты можно сделать вывод, что в соответствии нормативной документацией на упаковке майонезных соусов «Салатный» МЖК «Хабаровский», «Салатный» Махеев и «Майонезно-чесночный» Балтимор представлена вся информация для

потребителей. В майонезных соусах: «Эконом провансаль» Нежный и «Сливочно-чесночный» Мечта Хозяйки не указана информация о содержании белков, а в майонезном соусе «Сырный» Мечта Хозяйки не указана информация о содержании белков и углеводов, что является обязательным требованием к маркировке.

В соответствии с ГОСТ 31761 - 2012 «Майонезы и соусы майонезные. Правила приемки и методы испытаний» была изучена и проведена органолептическая оценка качества майонезных соусов. По результатам экспертизы можно сделать вывод, что только три образца майонезных соусов: «Салатный» МЖК «Хабаровский»; «Салатный» Махеев; «Майонезно-чесночный» Балтимор полностью соответствуют нормам по всем органолептическим показателям, а майонезные соусы: «Сырный» Мечта хозяйки; Сливочно-чесночный» Мечта Хозяйки; «Эконом провансаль» Нежный, не соответствуют по показателю запах, а именно отмечен сильный запах уксуса.

Возможной причиной появления сильного запаха является не правильное хранение, а именно: хранение при температуре выше 18 °С или при температуре ниже минус 5 °С, а также при попадании на майонезный соус солнечных лучей.

В соответствии с ГОСТ 31761 - 2012 было проведено исследование по физико-химическим показателям, по результатам экспертизы можно сделать вывод, что по таким показателям как, массовая доля жира, массовая доля влаги, кислотность, стойкость эмульсии, pH, все образцы майонезных соусов соответствуют нормам.

Анализируя результаты проведенного исследования по показателям безопасности: БГКП (колиформы); патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы; дрожжи; плесень, можно сделать вывод, что все образцы майонезных соусов соответствуют нормам, указанным в ТР ТС 021/2011.

Также, в соответствии с техническим регламентом 024/2011 на масложировую продукцию, исследование проводилось по показателю перекисное число, результаты представлены в таблице.

Таблица – Результаты экспертизы майонезных соусов по показателю безопасности перекисное число

Наименование исследуемого образца	Показатель, ед.изм.	
	Перекисное число, мэкв/г, не более	
	норма по ТР ТС 024/2011	фактический результат
Майонезный соус «Салатный» МЖК «Хабаровский»	10	8,0
Соус майонезный «Сырный» Мечта хозяйки	10	13,2
Соус майонезный «Сливочно-чесночный» Мечта Хозяйки	10	11,8
Майонезный соус «Салатный» Махеев	10	9,2
Майонезный соус «Эконом провансаль» Нежный	10	19,3
Майонезный соус «Майонезно-чесночный» Балтимор	10	9,0

Важность исследования данного показателя связано с тем, что он является одним из главных показателей на безопасность, так как характеризует начальную стадию окислительной порчи жира. При повышенном перекисном числе образуются первичные продукты окисления: пероксиды и гидропероксиды, которые усваиваясь организмом, аккумулируют в печени, вызывая патологические явления, действуют на сердечную мышцу, тормозят деятельность некоторых ферментов. При высоком значении перекисного числа в майонезных соусах может наблюдаться повышенный запах уксусной кислоты.

Анализируя результаты, представленные в таблице можно сделать вывод, что только три образца майонезных соусов: «Салатный» МЖК «Хабаровский», «Салатный» Махеев, «Майонезно-чесночный» Балтимор соответствует нормам, а майонезные соусы «Сырный» Мечта хозяйки, Сливочно-чесночный» Мечта Хозяйки и «Эконом провансаль» Нежный не соответствуют. В майонезном соусе «Сырный» Мечта хозяйки перекисное число выше нормы на 32%, в майонезном соусе Сливочно-чесночный» Мечта Хозяйки превышает на 18%, а в майонезном соусе «Эконом провансаль» Нежный перекисное число выше нормы на 93%. Можно предположить, что причинами данного нарушения являются следующие факторы: несоблюдение условий хранения и транспортирования, использование некачественного сырья, нарушение санитарно-гигиенических режимов в процессе фасовки готового продукта. При высоком значении перекисного числа в майонезных соусах наблюдается повышенный запах уксусной кислоты, в настоящем исследовании это достоверно, так как при определении органолептических показателей был выявлен сильный запах уксуса.

В связи с тем, что образцы для исследования были приобретены в торговых предприятиях можно дать следующие рекомендации: усилить контроль к условиям хранения и транспортирования, которые должны обеспечивать сохранность и безопасность пищевой продукции в течение срока годности; ввести выборочный контроль на органолептическую и физико-химическую оценку качества майонезных соусов при приемке товара, а также по показателю перекисное число; в торговых предприятиях усилить постоянный контроль и проверку на качество продукции по сертификатам.

Литература

1. Куприянов А.В. Система обеспечения качества и безопасности пищевой продукции // ВЕСТНИК ОГУ. - 2014. - № 3. – С. 164-167.
2. Почницкая И.М. Качество и безопасность продуктов питания как основа безопасности жизни // Пищевая промышленность: наука и технологии. - 2015. - № 1. - С. 76 - 82.

3. Байхожаева Б.У. Потребительский рынок: качество и безопасность продовольственных товаров // К вопросу об экономических аспектах качества: Материалы VII международной научно-практической конференции. – Орёл, 2013. – С. 13 - 15

References

1. Kuprijanov A.V. Sistema obespechenija kachestva i bezopasnosti pishhevoj produkcii // VESTNIK OGU. - 2014. - № 3. – S. 164-167.
2. Pochickaja I.M. Kachestvo i bezopasnost' produktov pitaniya kak osnova bezopasnosti zhizni // Pishhevaya promyshlennost': nauka i tehnologii. - 2015. - № 1. - S. 76 - 82.
3. Bajhozhaeva B.U. Potrebitel'skij rynek: kachestvo i bezopasnost' prodovol'stvennyh tovarov // K voprosu ob jekonomicheskikh aspektah kachestva: Materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Orjol, 2013. - S. 13- 15

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.244

Струнин Р.М.

Аспирант кафедры «Биомедицинские и электронные средства и технологии»,
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

БИОИМПЕДАНСНЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР ЧЕЛОВЕКА

Аннотация

Статья посвящена вопросу создания биоимпедансного идентификатора человека - устройства, позволяющего распознавать человека в результате измерения электрокожного сопротивления (ЭКС) его биоткани (пальцы и кисти рук, подошвы ног). В статье в кратком виде описана история биоимпедансного анализа, показана специфика и преимущества съема данных с ладони руки человека, а также представлен результат исследования о влиянии звуковых колебаний на психоэмоциональное состояние человека и значения биоимпедансного анализа.

Ключевые слова: Импеданс, идентификация человека, психоэмоциональное состояние человека, электрокожное сопротивление организма человека, бинауральный эффект, звуковые волны.

Strunin R.M.

Postgraduate student, Biomedical and electronic means and technology,
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

BIOIMPEDANCE IDENTIFICATION OF HUMAN

Abstract

The article focuses on the creation of human bioimpedance identifier - a device allowing to recognize a person as a result of measurement of electric resistance (ECS) his biological tissue (fingers and hands, soles of the feet). The article summarized describes the history of bioimpedance analysis shows the specificity and advantages of data removal from the palm of the human hand, as well as the results of research on the effect of sound vibrations on the psycho-emotional state of a person and the values of bioimpedance analysis.

Keywords: Impedance identification of human psycho-emotional state of a person, electrodermal resistance of the human body, binaural effect, the sound waves.

История исследований и разработок в мире в области биоимпедансного анализа (БИА) началась с 1880-х годов (более 135 лет назад), в России с 1930-х годов (более 80 лет назад).

Первое упоминание об исследовании электрической проводимости биологических объектов принято относить к работам В. Томсона, датированным 1880 годом. Основополагающие результаты в этой области были получены в начале и середине XX века [3]. К ним относятся: установление типичных значений удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости тканей, органов и жидких сред живого организма, а также выявление и частичное объяснение зависимости проводимости и диэлектрической проницаемости биологических жидкостей и клеточных суспензий от частоты зондирующего тока. С этими достижениями связаны имена Г. Фрике, К. Коула [6], Б.Н. Тарусова [8], Г. Шванна [6] и других исследователей [1, с.7].

Начало практического применения биоимпедансного анализа для характеристики состава тела человека, сначала для оценки водных секторов организма, а затем и других компонентов состава тела, принято связывать с работами французского анестезиолога А. Томассета, выполненными в начале 1960-х годов. [7]. Первые российские работы по этой тематике были опубликованы биофизиком Б.Н. Тарусовым в 1930-х гг., в те же годы небольшими партиями выпускалась биоимпедансная аппаратура для оценки приживаемости трансплантатов на основе данных об их электрической проводимости [4, с.21].

Таким образом, начиная с 1960-х годов и по-настоящее время, метод биоимпедансного анализа, основанный на измерении электрической проводимости различных тканей человека, применяется специалистами уже более 65 лет в различных сферах деятельности: в медицине, в спорте, в образовании и науке, в обороне и безопасности, в космической деятельности и др.

Необходимо отметить, что современные исследователи, использующие метод биоимпедансного анализа, полагают, что перспективным направлением создания современных измерительных средств определения биоимпеданса является импульсная импедансометрия, основанная на функциональной идентификации биологических тканей в классе моделей импеданса, позволяющий определить частотные характеристики биоэлектрического импеданса [4, с.5].

Начиная с 2009 года автором проводится исследование, связанное с созданием измерительного средства для идентификации человека через ладонную поверхность кистей рук. Регистрирующее устройство основано на биоимпедансном анализе, который является не инвазивным и полностью безопасным методом измерения для

человека, состоящим из набора электродов (рис.3), регистрирующих значения ЭКС. Измерение именно с ладонной поверхности руки человека связано с реперными точками с минимальным ЭКС и размещением в данных точках электродов для съема данных (рис.1).

Общеизвестно, что толщина эпидермиса на ладони руки достигает 0,7 мм, на мякишах пальцев - 0,9 мм [2]. Степень развития эпидермиса, выраженная числом слоев формирующих его клеток, зависит от локальных механических воздействий на кожу: чем больше и систематично физическое воздействие, тем более толстым становится эпидермис. В данном случае, для съема данных ЭКС, в биоимпедансном идентификаторе человека, высокий уровень толщины эпидермиса - является паразитной составляющей, так как может привести к искажению параметров ЭКС присущих конкретному человеку.

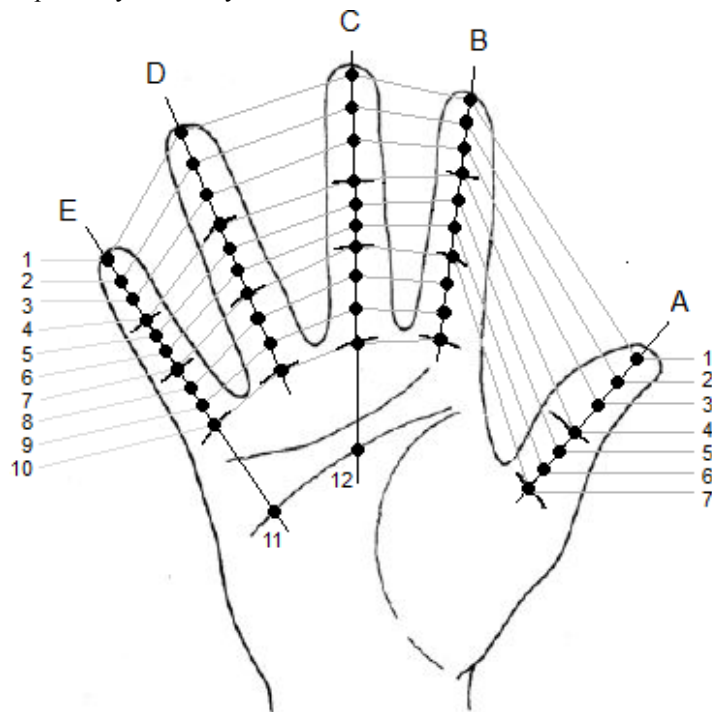


Рис. 1 – Схема измерения ЭКС пальцев руки человека

Целесообразность расположения электродов на подложке регистрирующего устройства идентификатора таким образом, чтобы они попадали в места флексорных линий ладони руки человека (рис.3) подтверждается результатами исследования, проведенного по методике измерения кожно-гальванической реакции «по Фере».

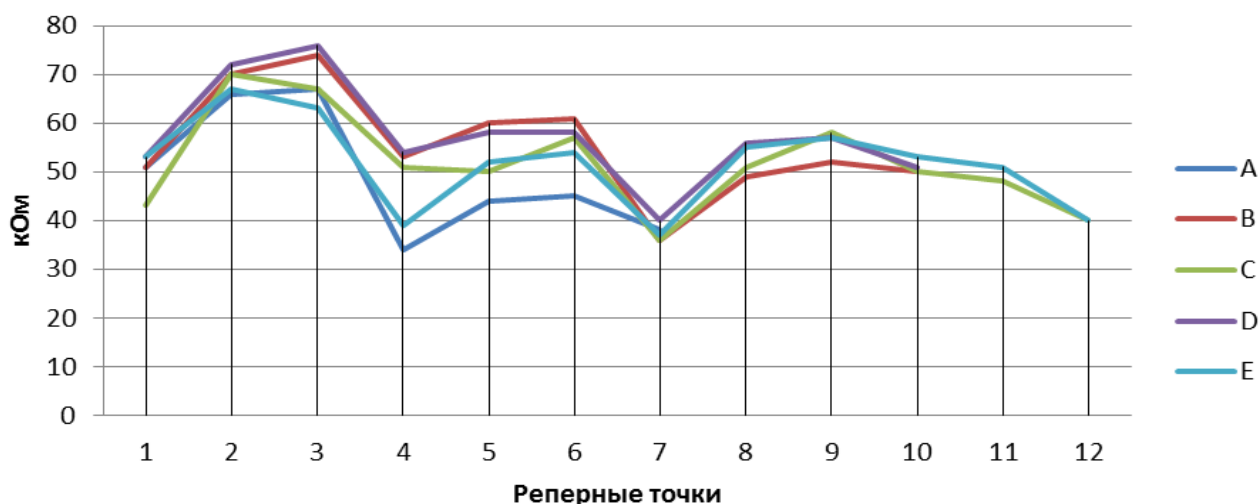


Рис. 2 – Распределение импеданса на ладони руки одного из ОИ

Результаты исследования автора показывают, что в местах флексорных (сгибательных) линий, образующихся от крупных складок кожи в местах сгиба фаланг пальцев и ладони (рис.2) ЭКС минимально относительно остальных участков кожи, что связано с физиологической составляющей, так как в данных местах толщина эпидермиса наиболее тонкая и данные участки менее подвержены локальным физиологическим воздействиям и увеличению толщины эпидермиса.

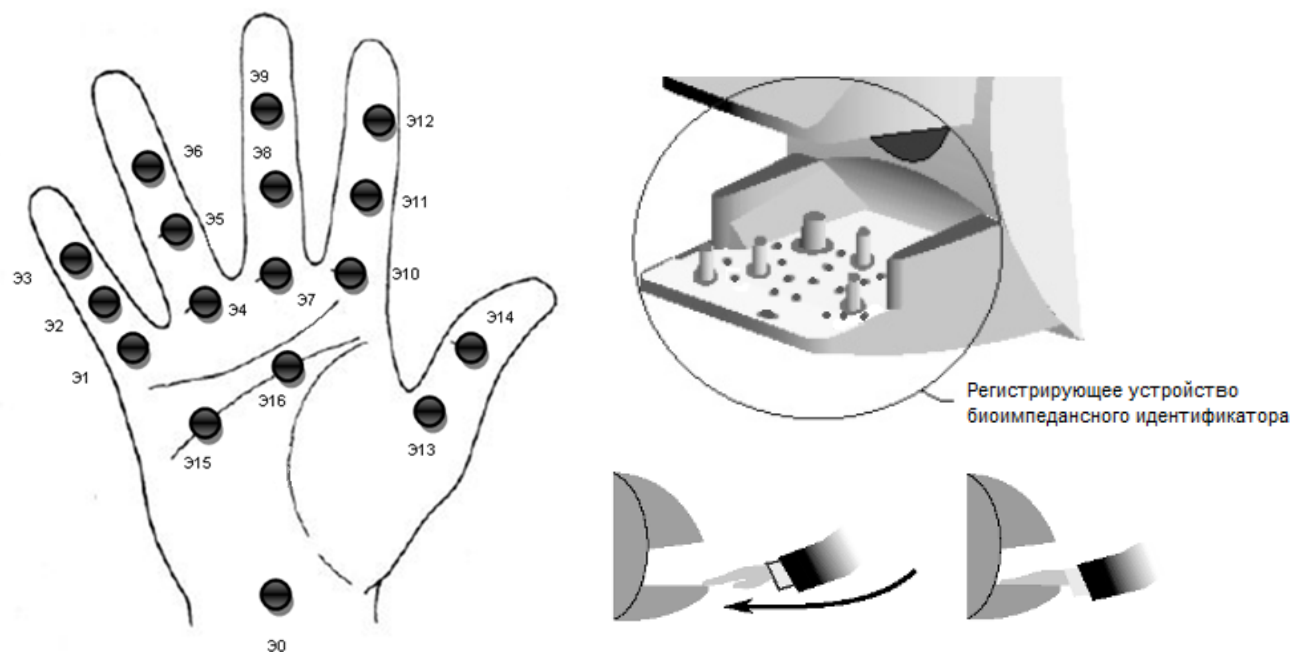


Рис. 3 – Регистрирующее устройство биоимпедансного идентификатора личности, где \mathcal{E}_0 – токовый электрод; \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_{16} – измерительные электроды

Дальнейшее исследование показало, что точность измерения зависит от психоэмоционального состояния человека, а также от ряда других известных ученым параметров, используемых в биоимпедансном анализе.

Психоэмоциональное состояние человека (объекта исследования - ОИ) зависит от частоты работы мозга, которая доминирует в конкретный момент времени, поэтому для изучения/подтверждения зависимости значений электрокожного сопротивления биоткани ОИ от психоэмоционального состояния человека можно использовать метод бинаурального биения, который еще в 1839 году обосновал и сформулировал немецкий ученый Г.В. Дов.

При проведении исследования применялся следующий алгоритм метода бинаурального биения:

I-стадия – 1) регистрация «Фоновое значение»; 2) воздействие на ОИ бинаурального биения звукового сигнала с определенной частоты 8 Гц и 14 Гц, в течение конкретного промежутка времени (по 3 минуты); 3) период релаксации;

II-стадия – 1) регистрация «Фоновое значение»; 2) в результате воздействия на ОИ бинаурального биения звукового сигнала с частотой 14 Гц (время воздействия 6 минут); 3) период релаксации.

Также проводя с применением сертифицированного оборудования и программного обеспечения «Мозгоправ 2.5», одобренной Минздравом РФ (Пр.№4 от 26.11.97 УС МЗ РФ) были сгенерированы частоты 8 Гц и 14 Гц бинаурального биения звукового сигнала.

Значения импеданса фиксировались в динамике (по методике измерения кожно-гальванической реакции «по Фере» [4]) диагностическим прибором «Гармония-1» (сертификат № РОСС RU.АЮ26.С00001 от 20.06.03) ладонной поверхности кистей рук (рис.1) у группы ($n = 55$) людей мужского пола в возрасте между 19 и 23 лет, ростом – от 167 до 187 см и массой тела – от 70 до 87 кг и группы ($n = 40$) людей женского пола, в возрасте между 19 и 23 лет, ростом – от 153 до 180 см и массой тела – от 50 до 75 кг получен/подтвержден вывод, что сопротивляемость организма внешнему воздействию имеет колебательный характер и характеризует процессы в организме, влияющие на электрические свойства определенной зоны (рис.5, 6). В период воздействия звукового сигнала с частотой 8 Гц, сопротивление кожи падало относительно фоновое значения. После того, как воздействие звукового сигнала на ОИ прекратилось, начался период релаксации, возвращения в исходное состояние сознания (фоновое значение). В период воздействия звукового сигнала с частотой 14 Гц, наблюдался рост электрокожного сопротивления, относительно фоновое значение, в результате чего, организм переходил в состояние активного бодрствования. Таким образом, в состоянии расслабления организма человека, происходит понижение ЭКС, а в состоянии активного бодрствования – повышение.

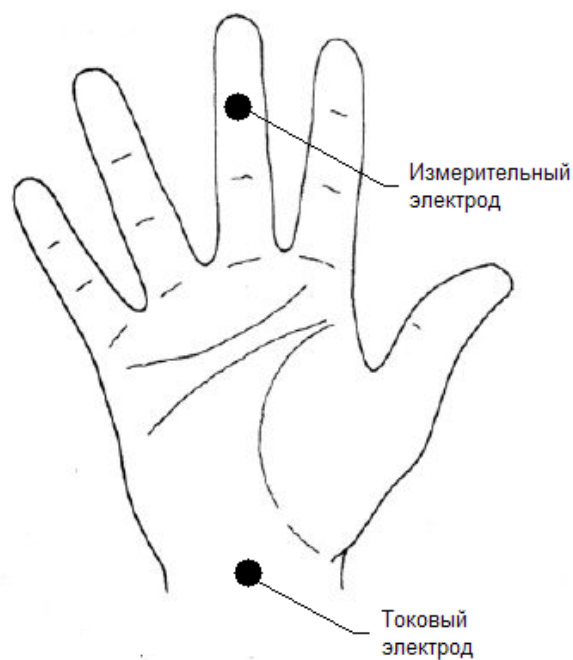
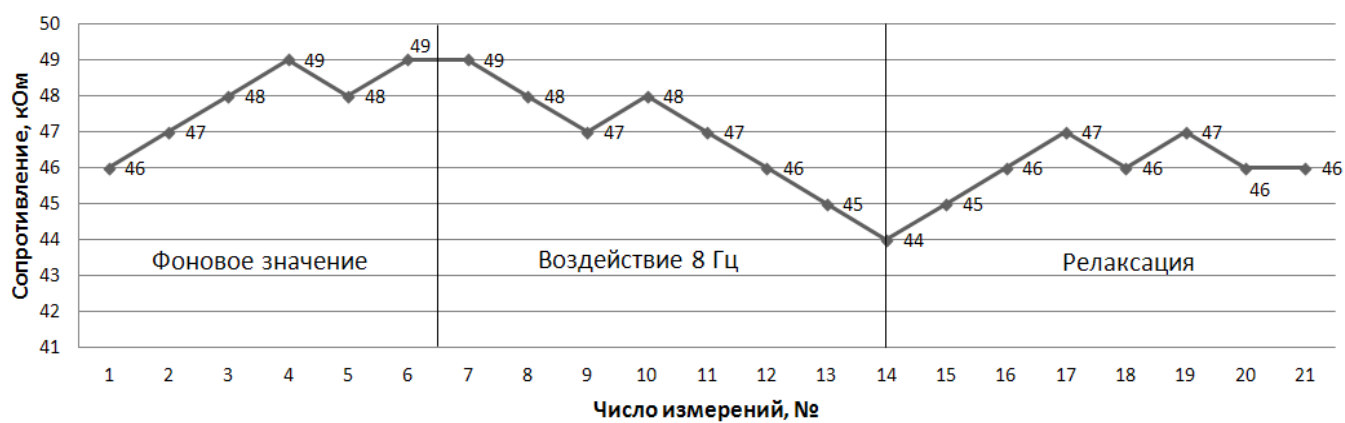
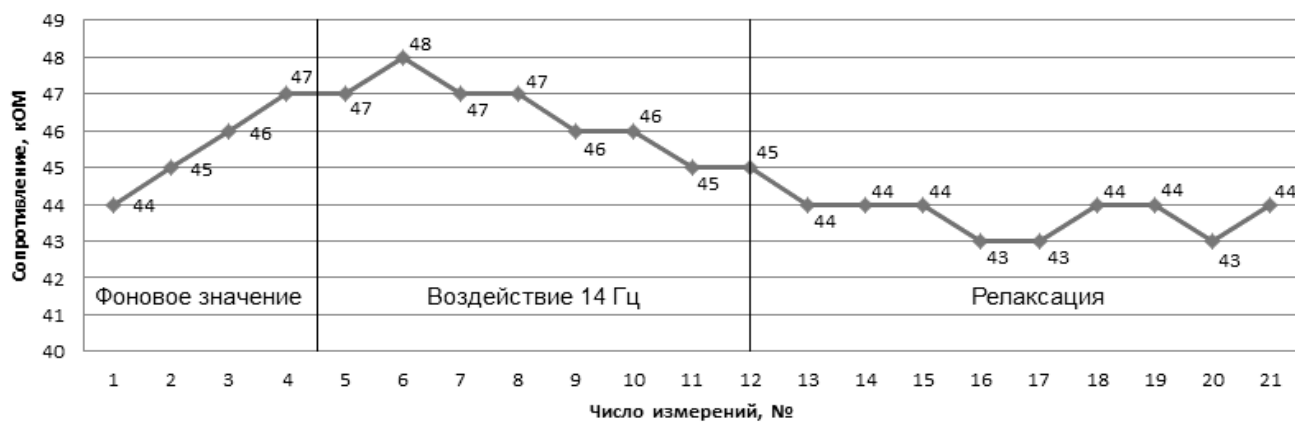


Рис. 4 – Положение электродов на ладонной поверхности правой руки человека во время измерения



а)



б)

Рис. 5 – Пример записи ЭКС под воздействием звукового сигнала бинаурального биения; а) с частотой 8 Гц; б) с частотой 14 Гц

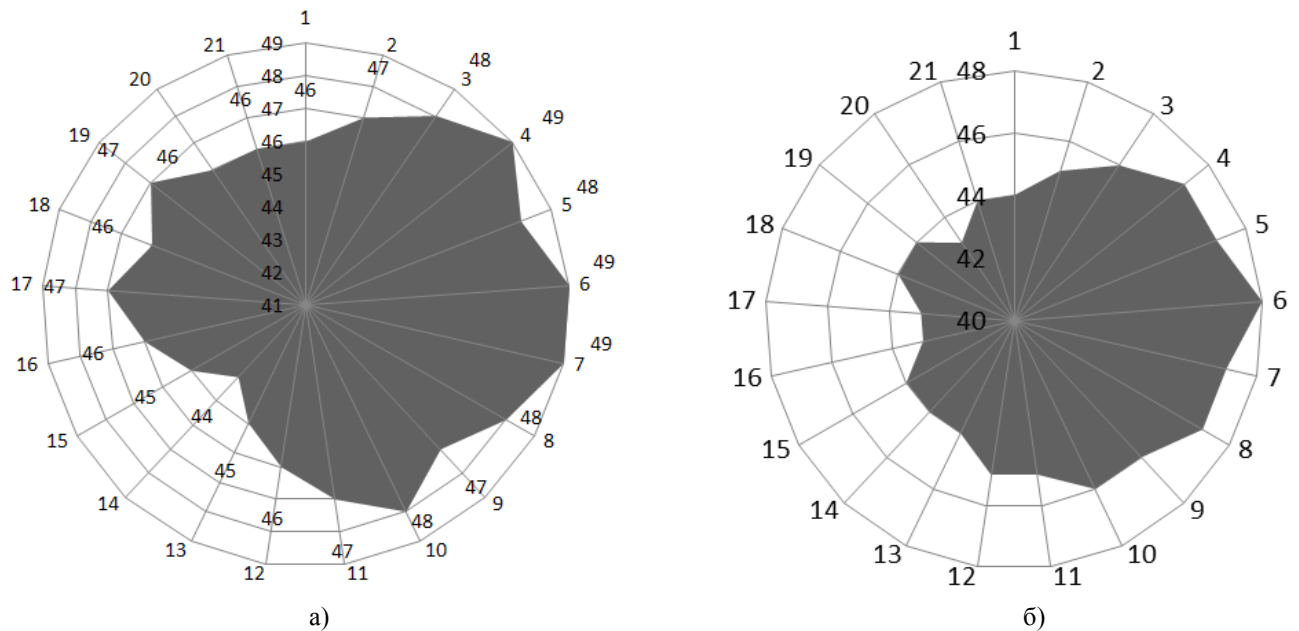


Рис. 6 – Лепестковая диаграмма записи ЭКС под воздействием звукового сигнала бинаурального биения;
а) с частотой 8 Гц; б) с частотой 14 Гц

Литература

1. Калакутский Л.И. Основы импульсной импедансометрии биологических тканей [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л.И. Калакутский, С.А. Акулов, А.А. Федотов; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (2,86 Мбайт). – Самара, 2011. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
2. Куприянов В.В., Стовичек Г.В. «Лицо человека», 1988. – 272 с.
3. Мартиросов Э.Г. Технологии и методы определения состава тела человека [Текст] / Э.Г. Мартиросов, Д.В. Николаев, С.Г. Руднев. – М.: Наука, 2006. – 248 с.
4. Николаев Д.В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская, С.Г. Руднев. - М.: Наука, 2009. - 392 с. - ISBN 978-5-02-036696-1 (в пер.).
5. Суходоев В.В. Модификационная методика регистрации КГР человека для оценки основных компонентов ПФС. // Тезисы конференции ИПАН 31 января 2007.
6. Kenneth R. Foster, HERMAN P. SCHWAN: A Scientist and Pioneer in Biomedical Engineering [Текст] / Annu. Rev. Biomed. Eng. 2002. 4:1 – 27.
7. Thomasset A. Bio-electrical properties of tissue impedance measurements // Lyon Med. 1962. V.207. P.107-118.
8. <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia: 0131742: article>, Фонд знаний Ломоносов.
9. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ794474.pdf> (дата обращения 10.03.2016).

References

1. Kalakoutsii L.I. Fundamentals of impulse impedance of biological tissues [electronic resource]: the electron. Proc. Benefit / Kalakoutsii L.I., Akulov S.A., Fedotov A.A.; Ministry of Education of Russia, Samar. state. aerokosm. Univ them. SP Queen (nat. Issled. Univ). - Electron. text and graphs. Dan. (2.86 MB). - Samara, 2011. - 1 e. wholesale. disk (CD-ROM).
2. Kupriyanov V., Stovichek G.V. «The man's face», 1988. - 272 s.
3. Martirosov E.G. Technologies and methods of determining the composition of the human body [text] / Martirosov E.G., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. - M.: Nauka, 2006 - 248 s.
4. Nikolaev D.V. Bioimpedance analysis of the composition of the human body / Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. - M.: Nauka, 2009. - 392 s. - ISBN 978-5-02-036696-1 (a lane.).
5. Sukhodoev V.V. Modification method of registration RAG person to assess the main components of the SFC. // Abstracts of the conference Ipanema January 31, 2007.
6. Kenneth R. Foster, HERMAN P. SCHWAN: A Scientist and Pioneer in Biomedical Engineering [Text] / Annu. Rev. Biomed. Eng. 2002. 4: 1 – 27.
7. Thomasset A. Bio-electrical properties of tissue impedance measurements // Lyon Med. 1962. V.207. P.107-118.
8. <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia: 0131742: article>, Foundation knowledge Lomonosov.
9. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ794474.pdf> (reference date 03.10.2016).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.205

Струнин Р.М.

ORCID: 0000-0001-5764-5844, Аспирант кафедры «Биомедицинские и электронные средства и технологии», Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА**Аннотация**

Статья посвящена вопросу создания биотехнической системы определения психоэмоционального состояния человека, представляющей собой совокупность методов и средств измерения электрокожного сопротивления ладони руки человека. В данной статье в кратком виде представлены: проблемы изучения психоэмоционального состояния организма человека, сравнительная характеристика методов измерения ЭКС, устройство для съема данных электрокожного сопротивления, результаты исследования психоэмоционального состояния организма человека.

Ключевые слова: биоимпедансный идентификатор, кожно-гальваническая реакция, электрокожное сопротивление, вегетативная нервная система, психоэмоциональное состояние человека.

Strunin R.M.

ORCID: 0000-0001-5764-5844, Postgraduate student, Biomedical and electronic means and technology, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

BIOTECHNICAL SYSTEM FOR DETERMINING THE STATE OF HUMAN PSYCHOEMOTIONAL**Abstract**

The article is devoted to the creation of the biotechnology system determining the psycho-emotional state of a person, which is a set of methods and tools for measuring the electric resistance, the palm of the human hand. In this article are presented in summary form: problems of studying the mental and emotional state of the human body, the comparative characteristic measurement methods pacemaker, a device for the removal of pacemaker data, the results of psycho-emotional state of the human body.

Keywords: bioimpedance identifier, galvanic skin response, electrodermal resistance, autonomic nervous system, the psycho-emotional state of a person.

Организм человека наделен уникальными способностями, позволяющими ему самостоятельно адаптироваться к различным условиям внешней среды. Вместе с тем, с течением времени, в работе организма человека могут происходить сбои, к примеру, психосоматические заболевания, нарушения в регуляции нервной и эндокринной систем, в работе сердечно-сосудистой системы и другие, вызванные информационными и физическими перегрузками в работе, низким качеством пищи, воздействием на организм излучения и другими причинами.

Изучение влияния факторов внешней среды, оказывающих воздействие на организм человека, определение методов диагностики и коррекции состояния организма способствовало разработке биотехнической системы для определения психоэмоционального состояния человека.

В настоящее время диагностика психоэмоционального состояния людей проводится специалистами с применением различных психологических тестов, выполнение которых занимает немало времени, получаемые данные субъективны и не всегда точны, что может привести к неправильному постановке диагноза.

В статье предлагается рассмотреть подход к определению психоэмоционального состояния организма человека на основе применения биоимпедансного метода измерения. Это позволит объективно определять особенности психоэмоционального состояния человека, сокращать время диагностики пациента и повышать точность результатов измерения.

По информации д.б.н. Князева Г.Г. и д.п.н. Слободской Е.Р., лучшим индикатором симпатического тонуса считается сигнал электродермальной активности [3]. Известны два наиболее часто применяемых метода измерения параметров электродермальной активности: метод Тарханова, основанный на измерении биопотенциалов на поверхности кожи, традиционно называемый кожно-гальванической реакцией; метод Фере, основанный на измерениях электрокожной проводимости [2]. Сравнительная характеристика двух методов представлена на рис.1.

Большинство современных устройств регистрируют кожно-гальваническую реакцию по измерению электрокожного сопротивления. Сопротивление ряда участков тела человека, в том числе ладоней рук, зависит от деятельности потовых желез, которыми управляет центральная нервная система. Любое эмоциональное возбуждение или нервно-психическое расслабление заставляют потовые железы работать в разных режимах, что приводит к изменению сопротивления кожи человека.

На основе анализа технических характеристик устройств, применяемых для измерения электрокожного сопротивления, был выбран в качестве базового - метод Фере, как наиболее устойчивый к помехам переменного типа.

Биоимпедансный идентификатор позволяет проводить измерение (по методике измерения кожно-гальванической реакции «по Фере» [2]) ладонной поверхности кистей рук человека, в динамике получать параметры электрокожного сопротивления для получения объективной картины психофизического состояния человека.

На рис.2 представлена рабочая плоскость регистрирующего устройства параметров электрокожного сопротивления биоимпедансного идентификатора человека.



Рис. 1 – Сравнительная характеристика методов измерения электрической активности кожи

Биоимпедансный идентификатор человека – устройство, позволяющее распознавать человека в результате измерения электрокожного сопротивления его биоткани (пальцы и кисти рук).

Широкие возможности метода измерения «по Фере» позволяют использовать биоимпедансный идентификатор не только как средство идентификации, но и как средство оценки психоэмоционального состояния человека. Для этого, необходимо переключить биоимпедансный идентификатор на режим оценки психоэмоционального состояния, активировав два электрода – \mathcal{E}_0 и \mathcal{E}_9 (рис.2). Через электрод \mathcal{E}_0 пропускается ток проводимостью 10 мкА. Внутреннее сопротивление внешней цепи 470 кОм. Материал электродов серебро-хлорид серебра (Ag-AgCl), который является наиболее стабильным и его электродный потенциал минимален [1].

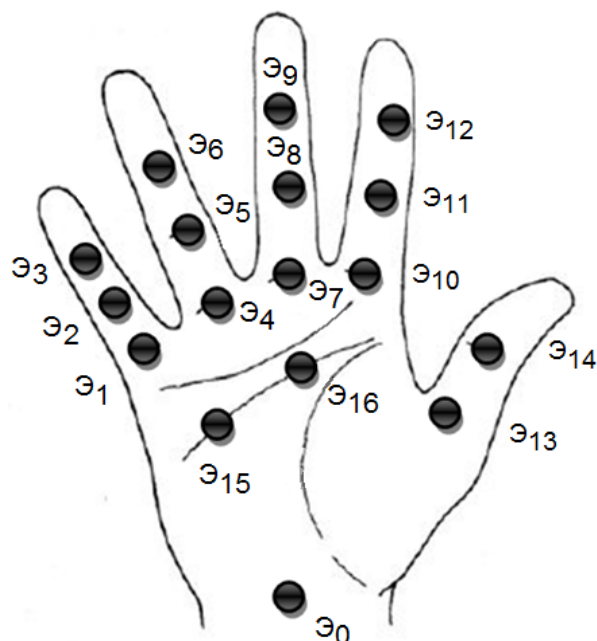


Рис. 2 – Рабочая плоскость регистрирующего устройства биоимпедансного идентификатора, где Э₀ – токовый электрод; Э₁–Э₁₆ – измерительные электроды

На рис.3 представлен пример записи электрокожного сопротивления объектов исследования, которые являлись лицами мужского и женского пола в возрасте от 20 до 24 лет. Измерение проводилось в динамике с промежутком между измерениями 30 секунд. Все объекты исследования находились в тихом, изолированном от внешних раздражителей помещении при комнатной температуре, в удобном положении сидя, исключая дискомфорт и влияние раздражающих факторов.

На графике видно (рис.3), что сопротивляемость организма внешнему энергетическому воздействию имеет колебательный характер и характеризует процессы в организме, влияющие на электрические свойства данной зоны.

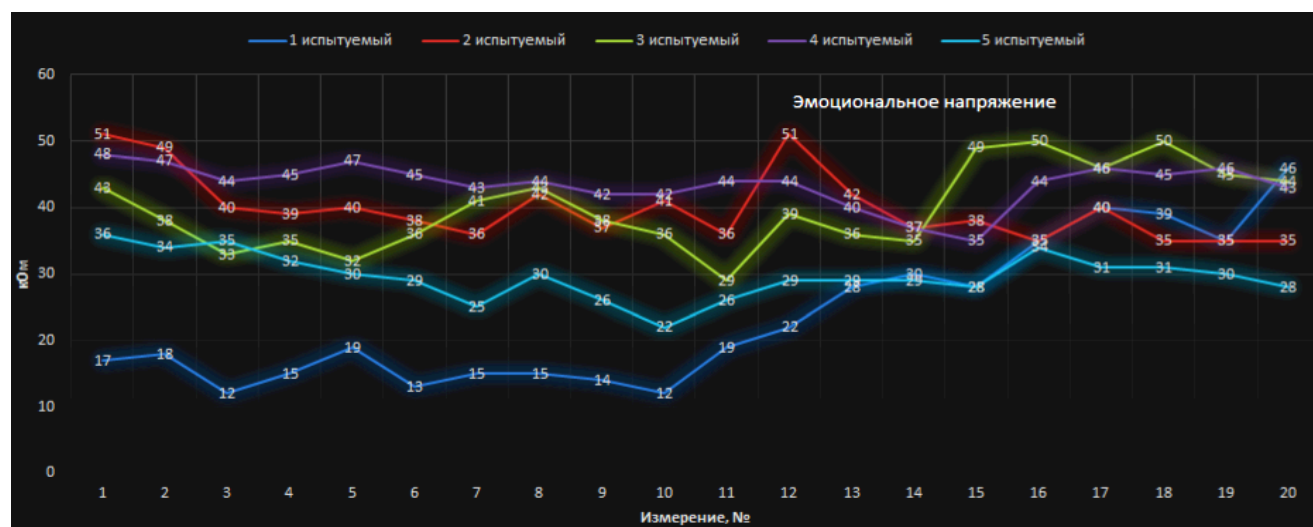


Рис. 3 – Пример записи электрокожного сопротивления объектов исследования

На десятом измерении, у объектов исследования происходил эмоциональный всплеск, связанный с просмотром видео о проведении патанатомического вскрытия.

На рис.4 представлен график электрокожного сопротивления одного из объектов исследования мужского пола в возрасте 24 лет, на фон была включена классическая музыка, которая нравится объекту исследования.

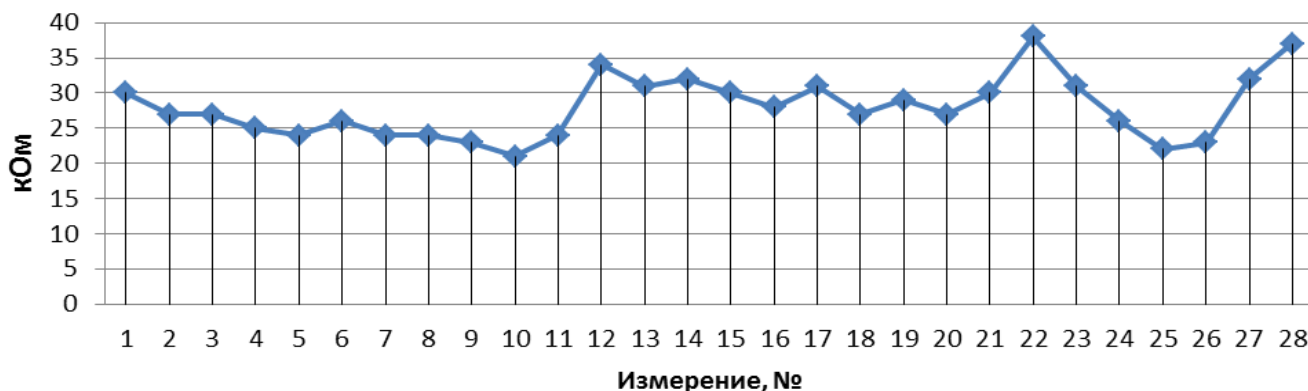


Рис. 4 – Пример записи электрокожного сопротивления одного из объектов исследования

На графике можно наблюдать спокойное психоэмоциональное состояние до 11 измерения, после с объектом исследования проводился разговор волнующую тему, которая привела к повышению электрокожного сопротивления, указывая на то, что затронутая тема привела к возбуждению его симпатической нервной системы. Длительность данного пика была кратковременной, так как испытуемый после перешел в состояние релаксации и стал контролировать свое эмоциональное состояние. Пики 22 и 28 измерения на графике показывают реакцию объекта исследования на стук в дверь и вошедшего постороннего человека в помещении.

На рис.5 представлен график объекта исследования мужского пола в возрасте 20 лет. Как видно из графика, в начале исследования показатели электрокожного сопротивления имеют колебательный характер, связанный с сопротивляемостью организма внешнему энергетическому воздействию, однако в момент разговора (в период с 11 по 21 измерения) зафиксировано повышение электрокожного сопротивления, с 21 по 24 измерение эмоциональное состояние объекта исследования перешло в исходное (фоновое) значение, после чего с 24 по 28 измерение наблюдался еще один эмоциональный всплеск с повышением электрокожного сопротивления, связанный с неожиданным похлопыванием объекта исследования по плечу сзади.

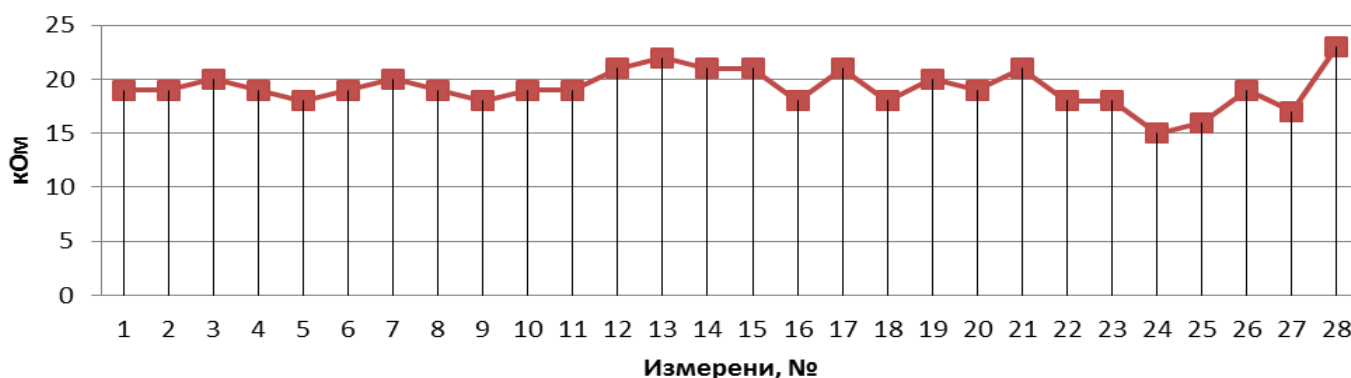


Рис. 5 – Пример записи электрокожного сопротивления одного из объектов исследования

На основании полученных результатов исследования можно сделать вывод, что данная биотехническая система позволяет определять электрокожное сопротивление человека и оценивать его психоэмоциональное состояние. Система может применяться при диагностике состояния пациентов в медицинских организациях, лиц, чья профессиональная деятельность связана с риском аварий, несчастных случаев (авиадиспетчеры, водители, машинисты), при подготовке сотрудников спецподразделений для оценки реакций организма на различные стрессовые нагрузки, которые возникают в определенных боевых ситуациях.

Литература

1. Струнин Р.М. Особенности выбора электродов для измерения электрокожного сопротивления в точках акупунктуры. Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции «Агаджанянские чтения», РУДН, 2016 г.
2. Суходоев В.В. Модифицированная методика регистрации КГР человека для оценки основных компонентов его ПФС. Тенденции развития современной психологической науки. Мат-лы конф. ИП РАН 2007 г., часть II, с. 347-349.
3. Калашников В.Г. «Электронметр. Технические материалы», с.18.

References

1. Strunin R.M. Features selection electrodes for measuring the electric resistance at acupuncture points. Materials of the All-Russian scientific-practical conference «Agadzhanovskie reading», RUDN, 2016.
2. Sukhodoev V.V. The modified technique of registration RAG person to assess the main components of its SFC. Trends in the development of modern psychology. Materials of conf. IP RAN in 2007, part II, p. 347-349.
3. Kalashnikov V.G. «Electrometer. Technical materials», p.18.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.219

Сысоев С.Н.¹, Воздуган А.А.²¹ORCID: 0000-0001-8255-9497, Доктор технических наук, ²ORCID: 0000-0003-1356-0253, Аспирант, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых**ОДНОМЕМБРАННЫЙ ПРИВОД С ПЕРЕМЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДЬЮ****Аннотация**

Анализируются приводы с рабочей камерой, ограниченной мембраной, соединенной со штоком, широко применяемые в гидропневмоаппаратуре. Предлагается повышение эффективности их функционирования путем использования изменения величины эффективной площади мембраны в процессе их работы. Описано новое устройство с переменной эффективной площадью мембраны, позволяющее без изменения габаритных размеров задавать требуемую зависимость усилия на штоке от давления среды в рабочей камере.

Ключевые слова: привод, мембрана, жесткий центр, эффективная площадь.

Sysoev S.N.¹, Vozdugan A.A.²¹ORCID: 0000-0001-8255-9497, PhD in Engineering, professor,²ORCID: 0000-0003-1356-0253, Postgraduate student, Vladimir State University**ACTUATOR WITH VARIABLE EFFECTIVE AREA USED ONE MEMBRANE****Abstract**

Actuators with functional chamber which limited by membrane connected with rod are analyzed. It's usually used in hydro-pneumatic equipment. It is given increase of functional efficiency by effective membrane's area size changing in progress of actuator's function. The article describes new device with effective membrane's area variable size which allow to set relation with force on rod and ambient pressure without overall dimensions changing.

Keywords: actuator, membrane, hard center, effective area.

В пневмо-и гидроавтоматике широко применяются устройства, в которых рабочая камера ограничена эластичной мембраной, связанной со штоком, выполняющим функцию запорно-регулирующего элемента, например, в клапанах гидропневмоаппаратуры [1]. Клапана способны работать как под повышенным давлением, так и в вакууме. Созданием давления газа или жидкости в рабочей камере получают силовое воздействие на шток и его перемещение.

С момента изобретения промышленного мембранного клапана в оригинальную конструкцию П. К. Саундерса [2] постоянно вносились изменения. Применялись новые материалы, подходящие для гигиенических систем, использовалась иная конфигурация клапана, например, трехходовой клапан, выходной клапан емкости и многоканальный клапан, а также разнообразные устройства автоматизации и управления клапаном для улучшения регулирования [3].

Повышают зависимость силового воздействия от давления путем установки на мембране жесткого центра, увеличивающего эффективную площадь мембраны.

Для мембраны с жестким центром силовое воздействие F определяется произведением давления p на эффективную площадь $S_{\text{эфф}}$ в соответствии с известным выражением [4]:

$$F = p \cdot S_{\text{эфф}} = p \pi \frac{1}{3} (R^2 + r^2 + Rr),$$

где: R – радиус мембраны; r – радиус жесткого центра.

Величина перемещения штока, силовое воздействие на него в данных устройствах задается перед началом работы в большинстве случаев только величиной давления рабочей среды, что ограничивает функциональные возможности привода и область его применения.

Использование влияния величины эффективной площади мембраны на функционирование привода и ранее рассматривалось в данном контексте в отечественных и зарубежных работах. Например, корректируют рассогласование, обусловленное отклонениями в размерах, характеристик материалов и неточностью сборки, устраняется перемещением центра мембраны относительно плоскости ее заделки. Применяют мембрану, обладающую упругими свойствами, приводящими к изменению ее эффективной площади при воздействии на нее такого перепада давлений, величина которого создает напряжение в материале мембраны, превышающее предел упругости [5]. Однако в данных устройствах отсутствует возможность регулировки, управления в процессе их работы.

Выполнение жесткого центра из составных частей [6, 7], одна из которых перестает взаимодействовать с мембраной при воздействии на нее заданного давления рабочей среды, уменьшая эффективную площадь мембраны, повышает эффективность управления мембранными приводами. Данные технологии и устройства позволяют в процессе работы привода уменьшать зависимость силового воздействия, создаваемого на штоке, от величины давления рабочей среды, действующей на мембрану.

Однако в значительной группе приводных механизмов требуется обеспечить увеличение усилия на штоке в конце его прямого хода, например, для выполнения функции прижатия к седлу запорного органа клапанов гидропневмоаппаратуры. Данная функция реализуется применением дополнительных прижимающих механизмов [8], значительно усложняя конструкцию и систему управления.

Задача расширения функциональных возможностей мембранных приводов путем обеспечения увеличения усилия на штоке в конце его прямого хода без изменения габаритных размеров устройства является актуальной.

Анализ возможности выполнения данной задачи методом исследования функционально-физических связей [9] выявил следующие закономерности.

Свойство изгиба мембраны от давления рабочей среды снижает величину силы на штоке. Увеличение силового воздействия на шток путем увеличения эффективной площади мембраны достигается установкой на ней жесткого центра, функция которого заключается в устранении процесса изгиба части мембраны, то есть ограничении перемещения мембраны относительно штока. Аналогичную функцию по ограничению перемещения рабочего органа в разнообразных устройствах выполняет жесткий упор. Упор при силовом взаимодействии с мембраной выполнит функцию жесткого центра. Эту функцию упор может выполнять как в начале процесса работы привода, так и позже.

Таким образом, предлагается в мембранном приводе, включающем мембрану, соединенную со штоком, на штоке закрепить упор с возможностью перемещения вдоль него и регулирования расстояния до мембраны.

Пример устройства и этапы его работы представлен на рис. 1, а, б, в.

Устройство (рис. 1, а) состоит из корпуса 1 с рабочей камерой 2, ограниченной мембраной 3 с закрепленным на ней штоком 4. На штоке установлен упор 5, зафиксированный ограничителем 6 на расстоянии l от поверхности мембраны.

В исходном положении, когда в рабочей камере манометрическое давление воздуха равно нулю ($p = 0$), шток занимает исходное положение на расстоянии X_0 от края корпуса.

Подача пневмопитания в рабочую камеру приводит к повышению в ней давления. Возрастает сила, действующая на шток до F_1 (рис. 1, б). Шток перемещается на расстояние X_1 от величины давления p_1 в рабочей камере. При этом эффективная площадь мембраны остается постоянной, так как мембрана еще не контактирует с упором 5.

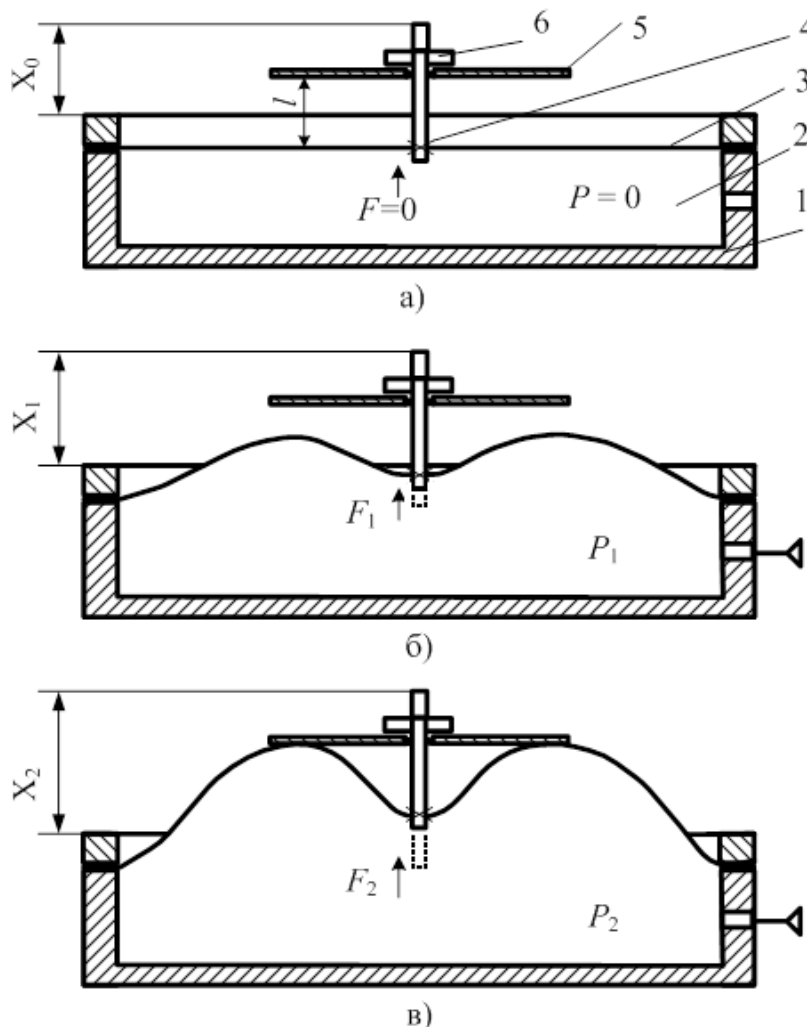


Рис. 1 – Этапы работы мембранного привода

При дальнейшем увеличении давления до p_2 (рис. 1, в) в рабочей камере мембрана прогибаясь, входит в контакт с упором. Это приводит к увеличению эффективной площади мембраны, увеличивая силу F_1 на штоке до F_2 .

Снижение величины давления в рабочей камере приводит к размыканию контакта мембраны с упором и уменьшению эффективной площади мембраны, что снижает зависимость силового воздействия на шток от давления.

Сравнительный характер зависимости силового воздействия F на шток от давления p рабочей среды показан на рис. 2.

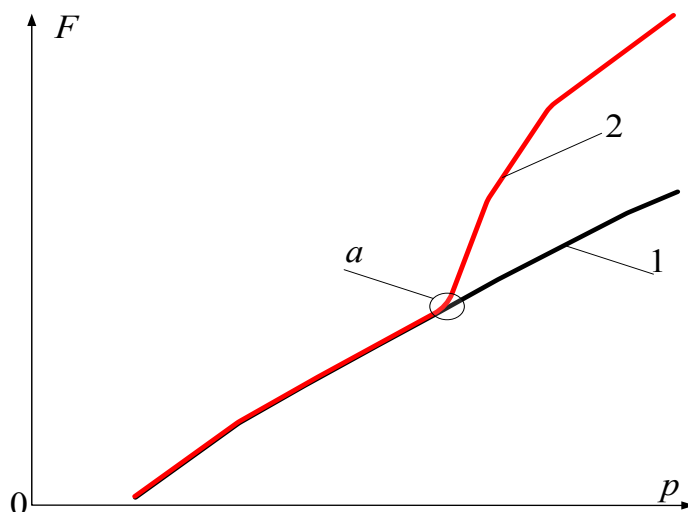


Рис. 2 – Графики характера процесса работы устройства, где: 1 и 2 – графики зависимости силы на штоке от давления рабочей среды соответственно без упора и с ним

Из графика видно, что соприкосновение мембраны с упором (рис. 1, в) в зоне *a* и дальнейшее увеличение площади контакта с ним, приводит к увеличению силы, создаваемой на штоке устройства.

Таким образом, расширяются функциональные возможности мембранных приводов путем обеспечения увеличения усилия на штоке в конце его прямого хода от величины давления рабочей среды и уменьшения усилия на штоке при обратном его ходе за счет изменения эффективной площади мембраны без изменения габаритных размеров устройства.

В лаборатории СКБ «Поиск» Владимирского государственного университета исследован предлагаемый мембранный привод. Моделирование, макетирование, натурные исследования показали его промышленную применимость и эффективность.

Литература

1. Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. М., «Машиностроение», 1972, 320 с.
2. Source: www.centuryinstrument.com/history.htm.
3. Jones, Steve. "The Future of Valves and Diaphragms Supply." BioPharm International, May 1, 2013, pp. 32–33. 4.
4. Сысоев С.Н. Элементы гидравлического и пневматического оборудования: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т; Владимир, 2001. – 90 с.
5. А.с. 26959I СССР. МКИ³ F15C 5/00, G06d 1/02 Способ регулировки эффективной площади мембран в устройствах пневмо-и гидроавтоматики / Л.А. Балховитин, В.М. Зорин, А.Д. Сосновский; опубл. 01.01. 1970, №15
6. Пат. 116846 Российская Федерация, МПК³ B 66 C 1/54. Камерный захватный агрегатный модуль / Сысоев С.Н., Никитин Р.А., Федотов А.В. –№ 2011154231/11; заявл. 28.12.2011; опубл. 10.06.2012, бюлл. № 16.
7. Сысоев, С.Н. Камерный захватный агрегатный модуль для транспортировки бухты медной трубки упорядоченной намотки / С.Н. Сысоев, Р.А. Никитин, А.В. Федотов // Заготовительные производства в машиностроении. –2013.–№3.– С. 35-37.
8. А.с. 427206 СССР. МКИ³ F16K 31/145 Исполнительный механизм / Л.С. Бондарчук, П.А. Жунев, М.С. Слободкин; опубл. 05.05. 1974, №17
9. Сысоев, С.Н. Принципы и методы нахождения технических решений. Метод исследования функционально-физических связей / С.Н. Сысоев. – Владимир: Изд-во Владим. гос.ун-та, 2007. – 214 с. ISBN 5-89368-775-2.

References

1. Bashta T. M. Gidropriwod i gidropnevmoavtomatika. M., «Mashinostroenie», 1972, 320 s.
2. Source: www.centuryinstrument.com/history.htm.
3. Jones, Steve. "The Future of Valves and Diaphragms Supply." BioPharm International, May 1, 2013, pp. 32-33. 4.
4. Sysoev S.N. Jelementy gidravlicheskogo i pnevmaticheskogo oborudovanija: Ucheb. posobie / Vladim. gos. un-t; Vladimir, 2001. – 90 s.
5. A.s. 26959I SSSR. MKI³ F15C 5/00, G06d 1/02 Sposob regulirovki jeffektivnoj ploshhadi membran v ustrojstvah pnevmo-i gidroavtomatiki / L.A. Balhovitin, V.M. Zorin, A.D. Sosnovskij; opubl. 01.01. 1970, №15
6. Pat. 116846 Rossijskaja Federacija, MPK³ B 66 C 1/54. Kamernyj zahvatnyj agregatnyj modul' / Sysoev S.N., Nikitin R.A., Fedotov A.V. –№ 2011154231/11; zajavl. 28.12.2011; opubl. 10.06.2012, bjull. № 16.
7. Sysoev, S.N. Kamernyj zahvatnyj agregatnyj modul' dlja transportirovki buhty mednoj trubki uporjadochennoj namotki / S.N. Sysoev, R.A. Nikitin, A.V. Fedotov // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. –2013.–№3.– S.35-37.
8. A.s. 427206 SSSR. MKI³ F16K 31/145 Ispolnitel'nyj mehanizm / L.S. Bondarchuk, P.A. Zhunev, M.S. Slobodkin; opubl. 05.05. 1974, №17
9. Sysoev, S.N. Principy i metody nahozhdenija tehniceskikh reshenij. Metod issledovanija funkcional'no-fizicheskikh svjazej / S.N. Sysoev. – Vladimir: Izd-vo Vladim. gos.un-ta, 2007. – 214 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.142

Татроков К.А.¹, Величко Е.Г.²¹ORCID: 0000-0003-4222-2712, Аспирант, ²Профессор, доктор технических наук,

Московский Государственный Строительный Университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО МОДИФИКАТОРА
В ПЕПЛОБЕТОНЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Аннотация

В статье рассмотрено – зависимость прочности пеплобетона от удельной поверхности добавки (молотого тонкодисперсного вулканического пепла Кабардино-Балкарской республики), метод повышения эффективности использования минерального модификатора в пеплобетоне путем подбора оптимального дисперсного состава многокомпонентного вяжущего.

Ключевые слова: пеплобетон, модификатор, пепел, дисперсность.

Tatrokov K.A.¹, Velichko E.G.²¹ORCID: 0000-0003-4222-2712, Postgraduate student, ²Professor, PhD in Engineering,

Moscow State University of Civil Engineering

**EFFICIENCY UPGRADING OF USING MINERAL MODIFIER IN "VOLCANIC CINDER" - CONCRETE VIA
OPTIMIZING SIZE-CONSIST MULTICOMPONENT ASTRINGENT**

Abstract

The article concentrates on dependence of the strength of the "volcanic cinder" - concrete to additive surface area (ground finely dispersed volcanic cinder of the Republic of Kabardino-Balkaria), efficiency upgrading method of using mineral modifier in "volcanic cinder" - concrete via selection of optimum size-consist multicomponent astringent

Keywords: "volcanic cinder" – concrete, modifier, cinder, dispersity.

Вулканический пепел состоит из мелких обломков пемзы, кварца, вулканического стекла и слюды. Основная масса (25%) представлена пылеватыми частицами. Преобладают обломки пеплового туфа до 60%, размерами зерен от 0,3 до 1 мм и до 4 мм. В более крупных частицах наблюдается волокнистая структура. Включения пемзы имеют грубопористую, волокнистую структуру. Кусочки слабого туфа, входящие в состав пепла, легко растираются пальцем в воде, быстро распадаются, а некоторые из них реагируют с соляной кислотой.

Включения пемзы прочны, легки и пористы. Зерна кварца размером 0,1 — 1,2 мм, долговечны, коррозионностойкие и составляют 15% массы породы.

Встречаются обломки известняка (пелитоморфный), зёрна полевого шпата до 5% и желтоватого биотита (2—3%) размером зерен до 0,6 мм хорошей сохранности. Кальциты иногда отмечаются как эпигенетический минерал в пепловой массе среди обломков слабого туфа. Микроскопические исследования пеплов показали, что они сложены в основном исключительно твердыми продуктами вулканических извержений. Они представлены обломками вулканического стекла, пепла, интрателлургическими минералами и незначительным количеством ксенолитов.

Ксенолиты представлены метаморфическими и осадочными породами — кварц-мусковитовыми сланцами, кварцитами, глинистыми сланцами и пелитоморфным известняком.

Таким образом, пепловые отложения являются образованиями твердых продуктов вулканических извержений, близких к кислым лавам липаритового типа [1].

Исследования показали, что в ряде случаев сочетание природного пористого щебня с песком из той же породы приводит к получению бетонов с более высокими техническими свойствами, чем при использовании кварцевого песка. Это связано с высокой однородностью показателей свойств щебня и песка из природных пористых пород и протеканием пуццолановой реакции между диоксидом кремния, содержащимся в зернах заполнителя и гидроксидом кальция.

В работе [2] показано, что при использовании минерального модификатора с оптимальной дисперсностью, функционально связанной с дисперсностью клинкерного компонента и только в оптимальном количестве, зависящим от собственной пуццоланической активности и дисперсности матрицы, прочность многокомпонентной цементной системы находится на уровне или превышает прочность бездобавочных цементных систем. Оптимальная дисперсность минерального модификатора в многокомпонентной цементной системе должна превышать дисперсность клинкерного компонента в 1,2..2,1 раза.

Для повышения эффективности использования минерального модификатора в бетоне в виде вулканического пепла путем оптимизации дисперсного состава многокомпонентного вяжущего были выполнены следующие исследования. Осуществлен помол вулканического пепла в шаровой мельнице и отбор трех проб с различной удельной поверхностью, с использованием которых были изготовлены и испытаны на прочность при сжатии образцы пеплобетона.

Прибором TopiPerm для измерения удельной поверхности по Блэйнму была определена удельная поверхность применяемого для пеплоблоков портландцемента ГУП "Чеченцемент", которая составила 3550 см²/г.

Были отобраны соответственно пробы молотого пепла с удельными поверхностями: S₁= 3410 см²/г, S₂= 4720 см²/г, S₃= 5300 см²/г.

Бетонные смеси были изготовлены в пропорциях по массе – 100 г (портландцемент):100 г (вода):500 г (вулканический пепел) - контрольный состав;

80 г (портландцемент):20 г (молотый пепел):100 г (вода): 500 г (вулканический пепел) – исследуемые составы бетона с тонкодисперсным пеплом различной удельной поверхности.

Образцы бетона размером 4х4х4(см) были пропарены и испытаны в возрасте 12 часов. Режим пропаривания: 2ч предварительное выдерживание, 3 ч подъем температуры до 85 °С, 5ч изотермический прогрев при 85 °С, 2 ч остывание.

Результаты испытания образцов на прочность при сжатии (МПа) представлены в табл.1.

Прочность бетона контрольного состава, МПа	Прочность бетона, МПа, с тонкомолотым пеплом при дисперсности, см ² /г		
	3410	4720	5300
8.7	8.6	8,7	7,5

Зависимость прочности бетона с добавкой молотого пепла от его дисперсности представлена на рис.1.

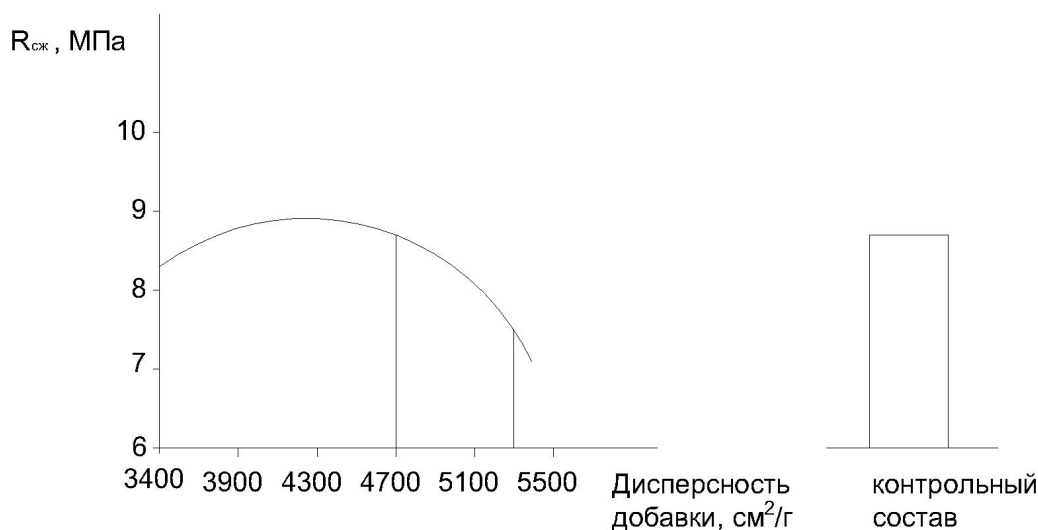


Рис. 1 – Зависимость прочности пеплобетона от дисперсности тонкомолотого пепла.

При равной с портландцементом и оптимальной дисперсности тонкомолотого шлака прочность бетона оказалась на уровне прочности контрольного состава.

Ниже приведены снимки РЭМ контрольного состава (1), образца с молотым пеплом $S_1 = 3410 \text{ см}^2/\text{г}$ (2), образца с молотым пеплом $S_3 = 5300 \text{ см}^2/\text{г}$ (3).

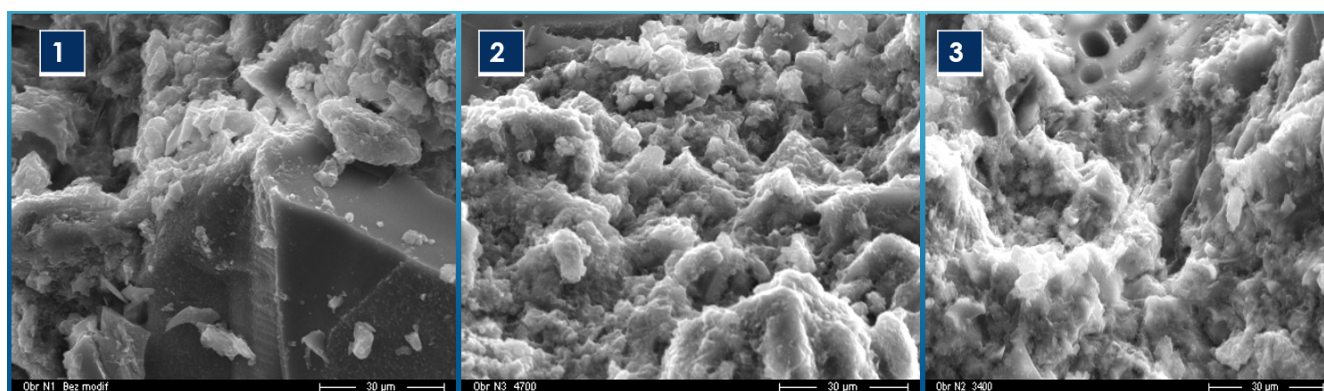


Рис. 2 – Снимки РЭМ составов 1, 2 и 3.

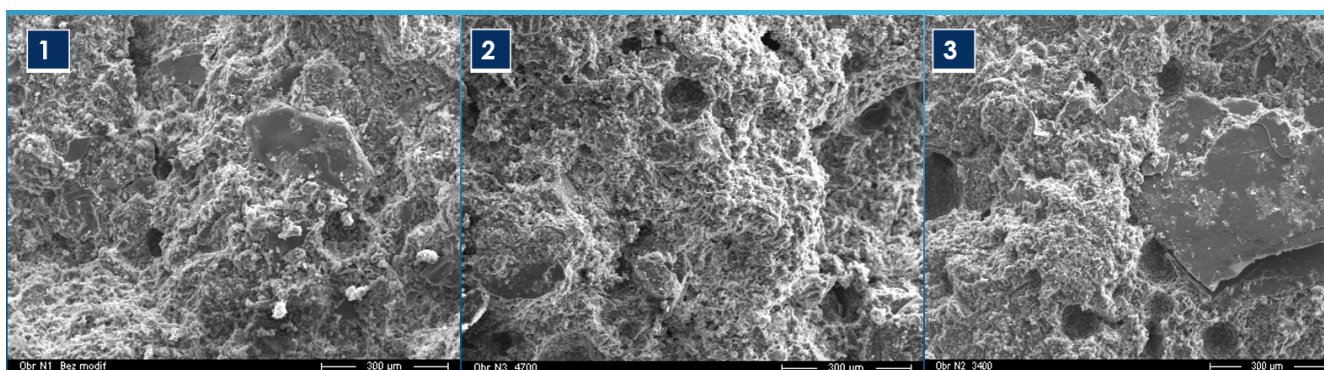


Рис. 3 – Увеличенные снимки РЭМ составов 1, 2 и 3.

Исследования структуры цементного камня в РЭМ показывают, что в образцах с тонкодисперсным пеплом она более тонкодисперсная, характеризуется наличием гидратных фаз волокнистого строения, а также наблюдается уменьшение капиллярной пористости, повышение плотности, подтверждая прочностные показатели бетона. Кроме того, элементный анализ показал, что содержание свободного гидроксида кальция уменьшилось на 35 %, которое очевидно вступило во взаимодействие диоксидом кремния, с образованием вторичных прочных низкоосновных гидросиликатов кальция с меньшей обводненностью.

По предварительному расчету экономическая эффективность от замены 20 % портландцемента в пеплобетоне на пепел равной или оптимальной дисперсности составит 19,5 руб на кубический метр пеплобетона.

Литература

1. Ахматов М.А. Легкий бетон на естественных пористых заполнителях Кабардино-Балкарии// Тр.КПИ: Эффективные легкие строительные материалы на базе местного сырья, Краснодар, - 1975,- вып.№80
2. Величко Е.Г. Автореферат диссертации док.техн.наук/ Повышение эффективности использования минеральных модификаторов в бетоне путем оптимизации дисперсного состава многокомпонентного вяжущего. МГСУ. 1999.

References

1. Ahmatov M.A. Legkij beton na estestvennyh poristyh zapolniteljah Kabardino-Balkarii// Tr.KPI: Jefferktivnye legkie stroitel'nye materialy na baze mestnogo syr'ja, Krasnodar, - 1975,- vyp.№80
2. Velichko E.G. Avtoreferat dissertacii d.t.n. Povyshenie jefferktivnosti ispol'zovaniya mineral'nyh modifikatorov v betone putem optimizacii dispersnogo sostava mnogokomponentnogo vjazhushhego. Tipografija MGSU. 1999.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.184

Тебугев М.-Б. И.¹, Тебугев Т.-Б. И.²

^{1,2}Аспирант, кафедра Электронных систем (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»), г. Санкт-Петербург.

ТЕХНОЛОГИЯ POWER LINE COMMUNICATIONS: РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Аннотация

В статье приводятся основные принципы построения системы передачи данных по электротехническим сетям, основанных на использовании технологии POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC), а так же разработке решения задачи влияния импульсных помех на передачу данных, путем расчета эффективности линии сигнала. Данные расчеты предлагается реализовать на сетях передачи данных, что позволит определять наиболее эффективный диапазон передачи при воздействии на сеть импульсных помех.

Ключевые слова: сеть, оптоволокно, импульсные помехи, импортозамещение, расчет эффективности.

Tebuev M.-B. I.¹, Tebuev T.-B. I.²

^{1,2}Postgraduate student, Department of Electronic Systems (National University of the mineral resource "Mountain"), St. Petersburg.

POWER LINE COMMUNICATIONS TECHNOLOGY CALCULATION OF EFFICIENCY OF THE DATA LINE

Abstract

The basic principles of the creation of data transmission system based on the use of the POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC) technology are given in the article, as well as the impact of the development of solutions to the problem of impulse noise data by calculating the efficiency of the signal line. These calculations are invited to implement data networks, which will determine the most effective transmission range when exposed to pulsed interference network.

Keywords: network, fiber optics, impulse noise, import substitution, the calculation efficiency.

Сетевые технологии стремительно развиваются из года в год предоставляя нам новые возможности. В первую очередь спросом пользуется увеличение скорости и пропускной способности, одновременно нельзя забывать и об экономичности. Ведь прокладка десятков километров оптоволокна – удовольствие чрезвычайно дорогое. Основными странами - поставщиками оптического волокна в РФ остаются США (65% импорта) и Япония (24%) в денежном выражении (Шашкова О. И. Российский импорт волоконно-оптического кабеля и оптоволокна за 9 мес., 2015 года. Тенденции. С. 67). В связи с подписанием указа президента Российской Федерации (1 августа 2014 г.) о запрете или ограничении импорта в нашу страну, из стран принявших санкции против российских граждан, компаний или организаций – разрабатываются различные способы информационного обмена, которые сведут необходимость в оптоволокне до минимума. Электротехнические сети отлично справятся с этой задачей, так как они буквально окутывают все жилые помещения и любые предприятия, их инфраструктура является едва ли не самой развитой. Новая технология PLC в настоящее время активно развивается.

Основой технологии PowerLine является использование частотного разделения сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбивается на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в один сигнал. Реально в технологии PowerLine используются 1536 поднесущие частоты с выделением 84 наилучших в диапазоне 2—34 МГц. При передаче сигналов по бытовой электросети могут возникать большие затухания в передающей функции на определенных частотах, что может привести к потере данных. Метод, предусмотренный для решения этой задачи в технологии PLC — динамическое включение и выключение передачи сигнала. Суть этого метода заключается в том, что устройство осуществляет постоянный мониторинг канала передачи с целью выявления участка спектра с превышением определенного порогового значения затухания. В случае обнаружения данного факта, использование

этих частот на время прекращается до восстановления нормального значения затухания, а данные передаются на других частотах. Однако имеет место проблема возникновения импульсных помех (до 1 микросекунды), причинами их появления являются мощные прожектора на предприятиях, а также включение и выключение мощных электроприборов, оборудованных электрическими двигателями.

Рассмотрим преимущества технологии PLC в сравнении с другими способами коммуникаций - (оптоволокно, витая пара, радиосвязь и т.п.):

С точки зрения экономии денежных вложений, технология PLC безоговорочно выходит в лидеры среди рассматриваемых вариантов. На одной только прокладке дополнительных проводов телекоммуникаций PLC уже оправдывает инновацию своей технологии. Так же учтем экономию монтажных работ – минимум персонала. Минимальные затраты и при расширении сети, а так же сеть легко организуется при демонтаже на этих же устройствах. Экономия времени - так же конек технологии PLC. Пока идет прокладка дополнительных проводов сеть PLC уже может быть готова к работе. Скорость монтажа рассматриваемой технологии, к примеру, может развернуть сеть PLC на 9ти этажном доме от одного до двух дней.

Организация передачи информации на PLC

Существует два способа передачи данных по PLC сети (рис 1):

С предварительной настройкой. Организуется по типу «Сервер-Ретранслятор-Клиент», то есть с использованием каждого вида оборудования;

Без предварительной настройки. В данном подключении используется 1 тип оборудования, который может являться и Сервером, и Клиентом, и Ретранслятором.

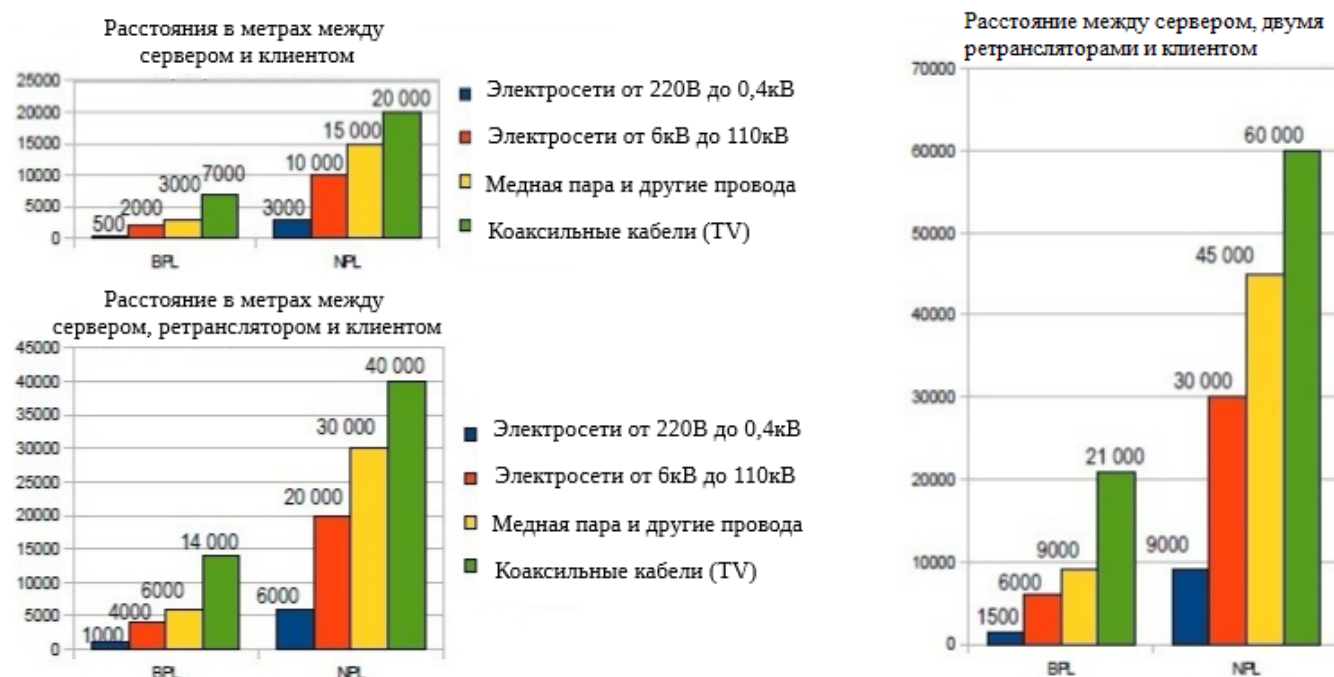


Рис. 1 – Характеристики сети

Сервер — это оборудование, реализующее передачу информации на PLC, без которого передача информации невозможна;

Клиент — это оборудование, реализующее передачу информации на PLC, которое благодаря серверу обменивается информацией с остальными устройствами;

Ретранслятор — это оборудование, реализующее передачу информации на PLC, которое позволяет увеличить расстояние между сервером и клиентом.

Теоретические исследования проведенные на - горнопромышленных предприятиях по затратам на прокладку дополнительных линий телекоммуникационных систем, а так же выбросов при импульсных помехах, создаваемые различными индуктивными связями дали предварительную классификацию, а так же на их основе было построено математическое моделирование расчета эффективности горнотехнических систем PLC.

Предприятие «Гиперком», г.Волжский - одно из не многих в России специализируется на производстве технологий PLC. Исследование заключалось в расчете эффективности линии передачи сигнала на предприятии. В результате проведенного исследования были получены данные позволяющие использовать технологию PLC с учетом импульсных помех максимально эффективно.

Таблица 2 – Расчет эффективности линии

f(MHz)	Uout	Uren	Uin	Rin [Om]	Передача [dB]	Передача с учетом отражения [dB]
0.1	0,16	3,12	0,06	0,628272251	-11,04942108	-20,32629952
0.2	0,24	3,20	0,14	1,37254902	-10,93275728	-17,12370521
0.3	0,32	3,28	0,20	1,948051948	-10,01129505	-14,91230943
0.5	0,32	3,28	0,23	2,262295082	-10,57576468	-14,950771
1.0	0,48	3,76	0,44	3,975903614	-10,23957035	-12,80981169
2.0	0,80	4,72	0,80	6,12244898	-9,120448296	-10,56057447
2.5	0,96	5,12	1,03	7,573385519	-8,82496868	-9,81097002
2.8	1,04	5,28	1,22	9,014778325	-8,826679353	-9,498614102
3.0	1,28	5,68	1,14	7,533039648	-7,213895145	-8,210375946
4.0	1,44	5,84	1,46	10	-7,109507317	-7,621032542
5.0	1,44	5,36	1,40	10,60606061	-6,48946987	-6,919177634
6.0	1,28	4,16	1,20	12,16216216	-5,679017674	-5,844914654
7.0	1,12	3,12	1,00	14,1509434	-4,497485652	-4,62678595
8.0	0,96	2,32	0,80	15,78947368	-3,422398585	-3,482928412
9.0	0,80	2,08	0,68	14,57142857	-3,94305724	-4,051482572
10.0	0,72	1,84	0,53	12,13740458	-3,48730922	-3,755367067

В (табл.2) приведены данные расчета эффективности линии при импульсных помехах на электротехнических сетях предприятия - «Гиперком». В качестве модема используется генератор SFG-2110Sy. Полоса обзора от 2 МГц до 10 МГц. Расчеты подведены на анализаторе спектра 150 кГц – 3 ГГц. Индуктивность первичной обмотки (два витка) 10 мкГ, индуктивность рассеяния 0.8 мкГ; Индуктивность вторичной обмотки (три витка) 22.5 мкГ, индуктивность рассеяния 4.6 мкГ.

Таким образом исходя из показателей расчета линии (Табл.2) видно, что автоматическое увеличение напряжения на линии при обнаружении импульсных помех до 10 МГц, приводит к уменьшению значения отражения сигнала (dB), что в свою очередь обеспечивает увеличение качества передаваемого сигнала.

Электросети России сильно отличаются техническими параметрами от Европейских. Электросети и проводка нашей необъятной страны в основном состоит из алюминия, в то время как Европа покрыта медью. Алюминиевые провода имеют плохие электрические и механические качества, что в свою очередь приводит к плохой электропроводности и в конечном счете быстрое затухание сигнала. Это конечно отрицательно сказывается на использовании технологии PLC в России. Но тем не менее большое количество преимуществ в особенности экономических, вероятнее всего приведут к развитию этой технологии в России, в ближайшем будущем.

Литература

1. Савкин М.М «Радиосвязь и высокочастотная телемеханика в горной промышленности». «Сборник научных трудов СО АН СССР». 1964. – С. 7-38.
2. Молоковский И.А. «Исследование возможности передачи информации с помощью беспроводных технологий в теле-коммуникационных сетях промышленных предприятий». Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета, серия: «Вычислительная техника и автоматизация -2010» Донецк 2010. № 19. -С. 77-82.
3. Невдяев, Л. М. «Мост в Интернет по линиям электропередачи» «ИнформКурьерСвязь». - 2003. - № 8. - С. 25-28.
4. Шашкова О. И. «Российский импорт волоконно-оптического кабеля и оптоволокна за 9 мес., 2015 года. Тенденции». С. 67.

References

1. Savkin MM "Radio and High Frequency Remote Control in the mining industry." "The collection of scientific works of the Academy of Sciences of the USSR." 1964. - P. 7-38.
2. Molokovsky IA "Study of the possibility of transmitting information via wireless technologies in tele-communication networks of industrial enterprises". Collection of Scientific Papers of Donetsk National Technical University, series "Computers and Automation 2010" Donetsk 2010. № 19. С. 77-82.
3. Nevdyayev, LM "Bridge to the Internet on power lines" "IKS". - 2003. - № 8. - S. 25-28.
4. Shashkova OI "Russian imports of fiber optic cable and optical fiber for 9 months., 2015. Trends ". S. 67.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.168

Усачев А.М.¹, Усачев С.М.², Свиридова А.В.³¹ORCID: 0000-0002-6150-2050, Кандидат технических наук, ²ORCID: 0000-0002-3856-187X, Кандидат технических наук, ³студент, Воронежский государственный архитектурно – строительный университет**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГРУНТОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ВЯЖУЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ И КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ****Аннотация**

В последние годы в строительстве дорожных покрытий актуальным становится применение укрепленных грунтов. Это значительно удешевляет и сокращает продолжительность строительства.

В данной статье приведены результаты испытания местных грунтов, укрепленных портландцементом и комплексной добавкой. Применяемая добавка способствует обезвоживанию грунта и уменьшению его пластичности, позволяет ускорить процессы гидратации цемента, что повышает прочность и гибкость оснований дорог.

Получены экспериментальные данные по оптимальной дозировке комплексной добавки, а также рациональной влажности укрепленных грунтов.

Ключевые слова: укрепленные грунты, вяжущие вещества, комплексная добавка.

Usachev A.M.¹, Usachev S.M.², Sviridova A.V.³¹ORCID: 0000-0002-6150-2050, PhD in Engineering, ²ORCID: 0000-0002-3856-187X, PhD in Engineering, ³ student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering**ASSESSMENT OF QUALITY OF THE SOIL STRENGTHENED BY KNITTING MATERIALS AND COMPLEX ADDITIVE****Abstract**

In recent years, in the construction of pavements makes the use of reinforced soil. This significantly reduces the cost and shortens the construction duration.

In this article, the results of tests of local soil, fortified Portland cement and a complex additive. Used supplement promotes dehydration of the soil and reduction of its plasticity, allows to accelerate the processes of hydration of cement, improves the strength and flexibility of the road base.

The obtained experimental data on the optimal dosage of supplements, as well as the rational humidity fortified soils.

Keywords: fortified soils, astringent substances, complex addition.

Восемьдесят лет назад в России были начаты исследования в области строительства автомобильных дорог. И уже тогда ставилась задача по максимальному использованию различных грунтов, залегающих вдоль трассы, для устройства дорожной одежды.

Укрепленные грунты – принципиально новый подход к конструированию оснований дорожных и аэродромных покрытий. Под укрепленными грунтами понимают искусственные материалы, получаемые смешением грунтов с минеральным вяжущим и добавками, уплотненные до требуемой плотности и отвечающие нормативным показателям качества.

В настоящее время в России построено и эксплуатируется свыше 30 тыс. км дорог, где применены укрепленные грунты (в основном цементогрунты) для оснований и покрытий дорожных одежд. Во всем мире площадь конструктивных слоев из укрепленных грунтов на дорогах и аэродромах превышает в настоящее время 3 млрд. м² [1].

Актуальность использования укрепленных грунтов в настоящее время обусловлена увеличивающимися объемами строительства автомобильных дорог, а также дефицитом и высокой стоимостью каменных материалов. Использование укрепленных грунтов позволяет значительно сократить затраты на строительство дорог, увеличить производительность, уменьшить расходы на обслуживание дорог, увеличить гарантийный срок эксплуатации трассы, а также уменьшить количество вредных выбросов в окружающую среду. При этом практически отсутствуют ограничения в выборе строительного материала. Поэтому целесообразно для устройства дорожных одежд применять местные материалы, укрепленные различными вяжущими веществами [2].

Целью данной работы явилось исследование влияния комплексной добавки на качество укрепленных грунтов, а также асфальтогрунтобетонов (АГБ).

В экспериментах использовались местные грунты, а также портландцемент ПЦ500 Д0 и комплексная добавка, представляющая собой порошкообразный материал, в основе которого присутствуют щелочноземельные металлы и синтетические цеолиты, дополненные активатором твердения.

Компоненты добавки снижают плотность грунта, способствуют его обезвоживанию, за счет механизмов физической адсорбции воды, химического связывания, а также кристаллогидратного присоединения воды; замещают ионы натрия и калия глинистых минералов на ионы кальция, что приводит к уменьшению пластичности и улучшает обрабатываемость; приводят к преобразованию коллоидно-химической природы грунта и созданию оптимальных условий для формирования прочной структуры цементогрунта.

Соответственно, сама добавка усиливает и повышает прочность и гибкость укрепленных грунтов на молекулярном уровне, ускоряет процессы гидратации цемента. Комплексная добавка формирует длинноигольчатую нанокристаллическую структуру в укрепленном грунте, образуя большее количество кристаллов и, соответствующие кристаллические матрицы, заполняющие поры и сплетающие частицы и агрегаты грунта.

При добавлении комплексной добавки в укрепляемом грунте за счет гигроскопичности щелочноземельных металлов задерживается вода, позволяя полностью реализовать частицам цемента свойства гидравлического вяжущего (за счет завершения процессов гидролиза и гидратации). При этом расход воды для достижения оптимальной влажности укрепляемого грунта уменьшается, что обеспечивает более высокие физико-механические свойства и трещиностойкость конструктивного слоя из укрепленного грунта.

Комплексная добавка и цементное тесто более длительное время сохраняют коагуляционную структуру, компенсируя тем самым активные центры частиц и агрегатов, в том числе разрушенных и при уплотнении.

Комплексная добавка обеспечивает полную реализацию активности цемента за счет длительного поддержания требуемой влажности для процесса гидролиза и гидратации частиц вяжущего. Щелочные металлы добавки участвуют в катионном обмене с коллоидными и глинистыми частицами грунта, снижая пленку свободной воды на грунтовых частицах и агрегатах, тем самым позволяя получить более высокую плотность укрепленного грунта.

В Центре коллективного пользования имени проф. Ю.М. Борисова, а также на кафедре «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций» Воронежского ГАСУ были проведены предварительные исследования по определению оптимального количества комплексной добавки для асфальтогрунтобетона.

Изначально компоненты добавки тщательно перемешивались в сухом состоянии до получения смеси однородного состава. После готовилось вяжущее на основе портландцемента ПЦ500 Д0 с содержанием полученной добавки в количестве 0, 1, 2, 3, 5 и 7 % от массы цемента. На основе полученного вяжущего готовились серии модельных образцов цементно-песчаного раствора. Компоненты смеси перемешивались до получения однородной массы. После приготовления цементно-песчаного раствора осуществлялось формирование образцов-цилиндров размером $d=h=5$ см. Удельное давление прессования составляло 20 МПа (200 кгс/см²), что соответствует нагрузке от действия укладчика.

После трех суток твердения в нормальных условиях определялись значения средней плотности и прочности при сжатии изготовленных образцов.

Результаты данных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства образцов в 3-х суточном возрасте

Содержание комплексной добавки, %	Среднее значение средней плотности для партии образцов, г/см ³	Среднее значение предела прочности при сжатии для партии образцов, МПа
0	2,17	6,35
1	2,17	6,32
2	2,19	8,20
3	2,17	5,72
5	2,18	5,29
7	2,15	5,11

Исходя из предварительно полученных результатов, рациональная дозировка комплексной добавки составляет 2 %. В дальнейших исследованиях на реальных АГБ, а также на искусственных смесях песка, щебня и глины применялась именно эта дозировка.

Первым этапом исследований стало определение оптимальной дозировки воды в АГБ. Изготавливались образцы асфальтогрунтобетона с различным количеством воды: от 4 до 20 % от массы сухих компонентов.

Результаты данных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные свойства АГБ при различной влажности

Содержание вяжущего в смеси, %	АГБ, г	Влажность смеси, %	Средняя плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии в 3-х суточном возрасте, МПа	Предел прочности при сжатии в 7-ми суточном возрасте, МПа
20 (ПЦ500 – 98 % + добавка 2 %)	1800	4	Смесь не формируется		
	1800	6	1,61	0,71	1,21
	1800	8	1,74	1,47	2,54
	1800	12	2,08	7,29	12,60
	1800	16	1,98	5,20	8,90
	1800	20	Смесь не формируется в результате высокой влажности		
20 (ПЦ500 – 100 % без добавки)	1800	12	2,03	6,82	11,80

Для исследуемой АГБ смеси оптимальной является влажность 12 %. При этой влажности смесь хорошо укладывается, а образцы имеют максимальные значения прочности при сжатии. Уменьшение влажности до 6...8 % приводит к резкому снижению значений прочности и средней прочности. При содержании влаги 4 % смесь не формируется, а рассыпается подобно сухому песку. Увеличение влажности до 20 % приводит к тому, что асфальтогрунтобетонная смесь растекается подобно жидкой сметане и, соответственно, сформовать из нее образцы не представляется возможным.

Параллельно была изготовлена серия образцов при 12 % влажности, где в качестве вяжущего применялся только ПЦ без использования комплексной добавки. Как видно из полученных результатов (см. табл. 2), отсутствие комплексной добавки приводит к снижению прочностных характеристик АГБ примерно на 7 %, что подтверждает предварительные теоретические выводы и практические результаты по эффективности используемой добавки.

В дальнейшем планируется провести исследования с различными грунтами и АГБ с целью определения рационального количества вяжущего в смесях, максимально допустимого содержания глинистых грунтов и др.

Литература

1. Укрепление обочин автомобильных дорог: ОДН 218.3.039 / Минтранс России, Гос. служба дор. хоз-ва. - М.: ГП «Информавтодор», 2003.

2. Совершенствование теоретических основ укрепления грунтов комплексными вяжущими с целью получения высокопрочных дорожных конструкций / Росдорнии, Союздорнии. - М., 2002.

References

1. Strengthening of roadsides of roads: ONE 218.3.039 / Ministry of transport, State. service Dor. households Islands. - M.: state enterprise "Informavtodor", 2003.

2. Improvement of theoretical foundations for complex soil stabilization with binders for the purpose of obtaining high strength road construction / Rosdornii, Soyuzdornii. - M., 2002.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.001

Фам Фыонг Кыонг

Стажер, Московский технологический университет (МИРЭА)

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СХЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАЛЬНОСТНЫМ ПОРТРЕТАМ

Аннотация

Обсуждается проблема автоматического распознавания воздушных целей на основе анализа их радиолокационных дальностных портретов. Процедура радиолокационного распознавания включает последовательное решение двух задач. Первая задача состоит в формировании классификационных признаков воздушных целей по дальностным портретам, позволяющих отличать друг от друга. Вторая задача – нейросетевая идентификация дальностных портретов по совокупности полученных признаков. Рассматривается метод классификации на основе радиальных базисных сетей.

Ключевые слова: радиолокация, распознавание воздушных целей, радиолокационные дальностные портреты, морфологические и геометрические информативные признаки, нейросетевые алгоритмы идентификации, радиальная базисная сеть.

Pham Phuong Cuong

Apprentice, Moscow Technological University

NEURAL NETWORK SCHEME FOR AERIAL TARGET RECOGNITION BY RADAR RANGE PROFILES

Abstract

This article discusses the problem of automatic aerial target recognition based on analysis of radar range profiles and questions of informative signature formation. The procedure of radar recognition includes sequential two tasks. The first task is to build classification signatures of aerial targets using range profiles, which allow to distinguish targets from each other. The second task – neural network identification of range profiles by gather of obtained signatures. Classification method based on radial basis neural networks are examined.

Keywords: radar, aerial target recognition, radar range profiles, morphological, geometric informative signatures, neural network algorithm for identify, radial basis neural network.

Радиолокация - это область радиоэлектроники, занимающаяся обнаружением объектов (целей), определением их пространственных координат, параметров движения и физических характеристик с помощью радиотехнических средств и методов [1]. Перечисленные задачи решаются в процессе радиолокационного наблюдения, а устройства, предназначенные для этого, называются радиолокационными станциями (РЛС).

Необходимую для распознавания протяженных воздушных целей (ВЦ) информацию могут давать радиолокационные дальностные портреты (ДП), называемых в англоязычной литературе «range profile» [2–4]. В настоящей статье исследуются вопросы построения систем автоматического распознавания ВЦ на основе анализа их ДП.

В выполненных исследованиях использовалась программа моделирования ДП воздушных целей «Radar Target Back Scattering Simulation» (BSS), разработанная Я.Д.Ширманом и его коллегами [5].

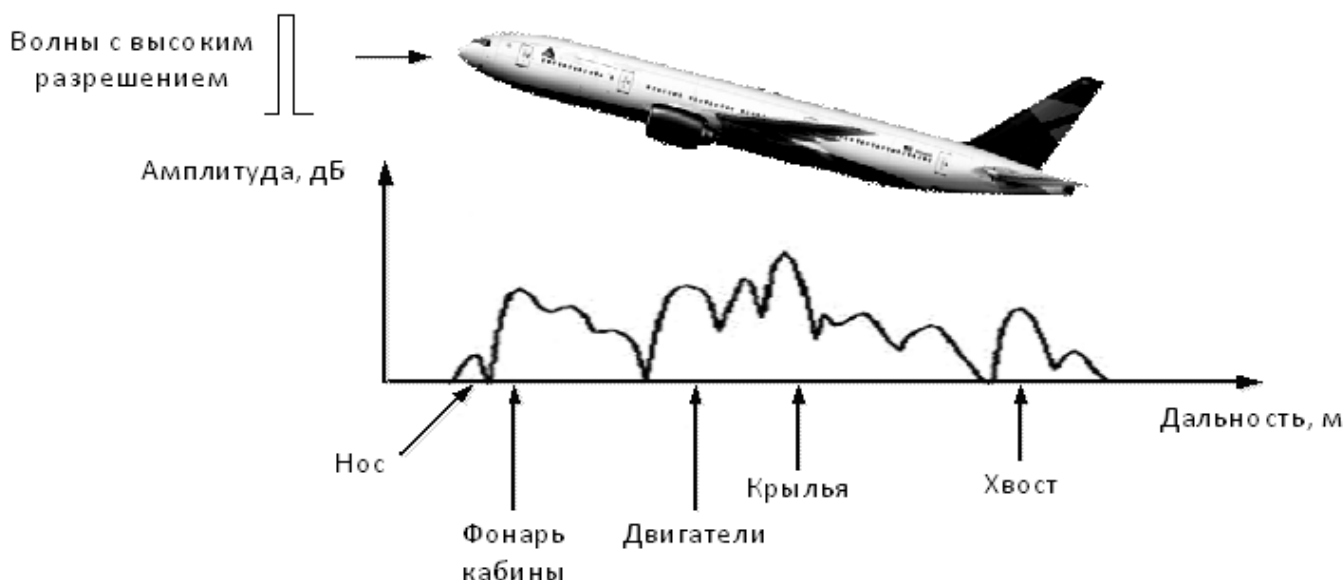


Рис. 1 – Дальностный портрет ЛА

Радиолокационные дальностные портреты

Дальностный портрет (дальностный профиль) является одномерной характеристикой радиолокационных целей. Это отклик объекта наблюдения при облучении широкополосным импульсом во временной области. Рис. 1 иллюстрирует принцип формирования радиолокационного дальностного портрета летательных аппаратов (ЛА) [2].

На каждом дальностном отсчете амплитуда полученного сигнала дает силу отраженного сигнала. На рис. 1 показаны основные части самолета, которые создают ДП.

Отметим, что видимая длина объектов на ДП может отличаться от его физической длины из-за двух эффектов. Сигнал, отражающийся в сторону РЛС, может далее подвергаться отражению от других рассеивателей цели, вследствие чего повышается временная задержка, которая и появляется в структуре ДП. Второй эффект обусловлен сокрытием одних частей самолета другими: некоторая часть самолета может быть скрыта его большей частью, которая находится между первой и РЛС. В итоге уменьшается энергия радиоволн, которые дойдут до цели и будут отражены обратно к РЛС. Например, фюзеляж или крылья самолета могут скрывать его хвост.

На рис. 2 в качестве примера приведен ДП бомбардировщика В-52.

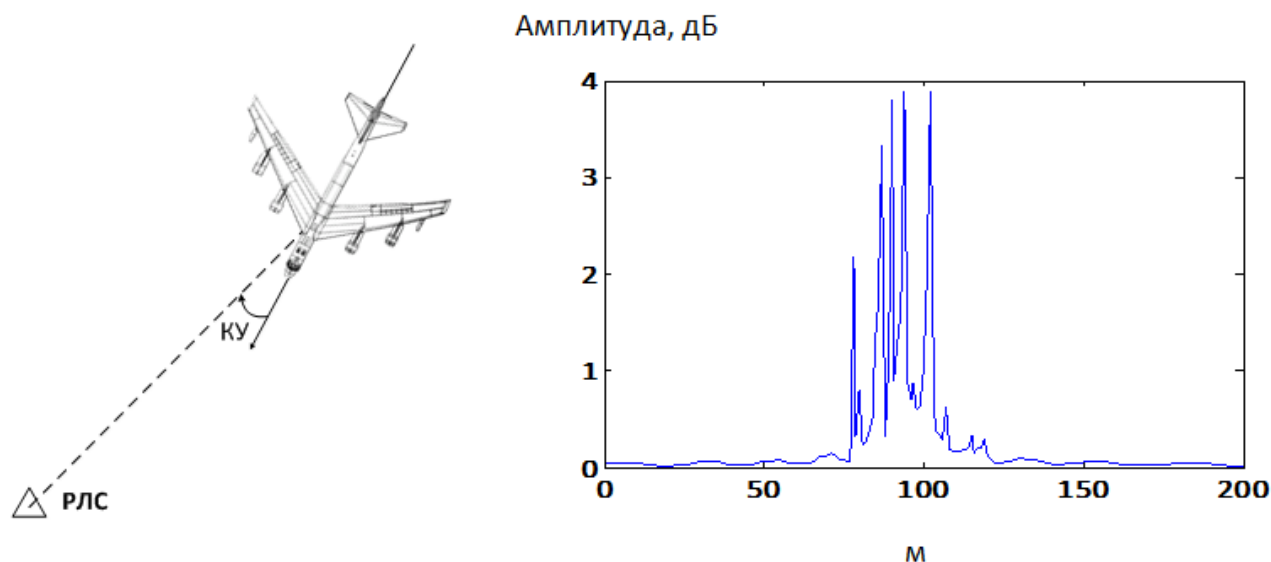


Рис. 2 – Дальностный портрет бомбардировщика В-52

Эффект отражения радиоволн от ВЦ в сторону РЛС зависит от *курсового угла* (КУ) - угла между продольной осью ЛА и направлением на наблюдателя в плоскости истинного горизонта последнего, отсчитываемый по ходу часовой стрелки. Отметим, что ДП на рис. 2 отвечает $KY=20^\circ$.

Далее дальностные портреты рассматриваются как одномерные функции:

$$A = \pi(\xi).$$

где ξ - дальность отсчета (м), A - амплитуда отклика (дБ).

Процедура распознавания ВЦ на основе анализа их дальностных портретов предполагает решение двух подзадач:

- 1) формирование комплекса информативных признаков ВЦ по ее ДП;
- 2) классификацию ВЦ на основе полученных информативных признаков.

Схема распознавания воздушных целей

Введем обозначения:

- Ω - множество наблюдаемых ВЦ;
- $\omega \in \Omega$ - объекты наблюдения;
- AC - алфавит классов ВЦ:

$$AC = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m\};$$

- $\Omega_i \in AC (i=1:m)$ - классы;
- Θ - алфавит меток (имен) классов ВЦ:

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\};$$

- $\theta_i \in \Theta (i=1:m)$ - метки классов;
- Π - множество дальностных портретов ВЦ;
- $\pi \in \Pi$ - дальностные портреты.
- X - признаковое пространство ВЦ.

Пространство X определяется выбором информативных признаков x_1, x_2, \dots, x_n . При этом объекты наблюдения представляются кортежем

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Каждая ВЦ относится к некоторому классу и, следовательно, ей априори соответствует определенная метка класса:

$$\omega \rightarrow \theta.$$

Алгоритм классификации осуществляет функциональное преобразование

$$\mathbf{x} \rightarrow y,$$

т.е. для каждого входного образа $\mathbf{x} \in X$ вычисляет соответствующую метку класса $y \in \Theta$, которая и присваивается наблюдаемой ВЦ.

В случае правильной классификации

$$y = \theta.$$

Надежность процедуры распознавания в значительной мере зависит от выбора системы информативных признаков. В настоящей работе для идентификации ДП ВЦ предлагается применять следующие группы признаков:

- морфологические;
- геометрические.

Морфологические информативные признаки

Самым простым морфологическим признаком ДП является число пиков m в его структуре. Следует учитывать лишь доминирующие пики, которые значительно превышают по амплитуде шуму и помехи.

Другая характеристика ДП основана на ранжировании составляющих его пиков по амплитуде. Набор применяемых информативных признаков должен быть инвариантным по отношению к действию данных факторов. Поэтому для анализа ДП неприемлемо прямое применение амплитудных значений пиков в силу их зависимости от ряда не учитываемых возмущающих и искажающих факторов в принимаемом эхо-сигнале. Предлагается вместо амплитудных значений пиков применять их ранги. Таким образом, речь идет о структурной идентификации ДП посредством использования ранговых шкал.

Ранги пиков определяются следующим образом. Положим, в ДП выделены m пиков с амплитудами $A_i (i=1:m)$. Из этих величин составляется вариационный ряд в порядке убывания. Далее элементы ряда нумеруются от 1 до m . Наконец, порядковый номер каждого элемента в вариационном ряду определяет его ранг:

$$R_i = \text{rank}(A_i).$$

В итоге получаем наборы рангов пиков

$$\mathbf{R} = (R_1, R_2, \dots, R_v).$$

Так для ДП, представленного на рис. 4, $v=5$, $\mathbf{R} = (3, 5, 4, 2, 1)$.

Геометрические информативные признаки

Геометрические признаки представляют глубину D и моментные характеристики ДП.

Определим глубину ДП D как расстояние между крайними отсчетами в отраженном радиосигнале. Данные отсчеты необходимо выделять на фоне помех.

Другие геометрические характеристики ДП:

- а) начальный момент нулевого порядка:

$$M_0 = \int_0^D \pi(\xi) d\xi;$$

б) начальный момент первого порядка:

$$M_1 = \int_0^D \xi \pi(\xi) d\xi;$$

в) положение центра тяжести ДП:

$$\xi_0 = M_1 / M_0;$$

г) центральный момент p -го порядка ($p \geq 2$):

$$m_p = \int_0^D (\xi - \xi_0)^p \pi(\xi) d\xi.$$

Определенные выгоды при анализе ДП могут давать безразмерные величины, построенные по данным показателям. В частности, сюда относятся

д) относительное положение центра тяжести ДП:

$$\xi'_0 = \xi_0 / D;$$

е) центральные нормированные моменты:

$$\mu_p = m_p / M_0.$$

Данные показатели инвариантны к мощности принимаемого сигнала.

К примеру, для ДП самолета В-52, представленного на рис. 2, $\xi'_0 = 0,57$, $\mu_p = 7,18$.

Исследования показывают, что морфологических и геометрических характеристик ДП достаточно для эффективного распознавания ВЦ.

Динамический аспект радиолокационного наблюдения

Форма и метрические характеристики ДП зависят от курсового угла движения ВЦ. В связи с этим далее будем его рассматривать как двумерную функцию:

$$A = \pi(\gamma, \xi),$$

где γ - курсовой угол ($^\circ$), ξ - дальность отсчета, A - амплитуда отклика.

Совокупность всех информативных признаков ВЦ представим кортежем:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2), \quad (2)$$

где \mathbf{x}_1 и \mathbf{x}_2 - соответственно кортежи морфологических и геометрических признаков:

$$\mathbf{x}_1 = (v, \mathbf{R}), \quad \mathbf{x}_2 = (D, \xi'_0, M_0, \mu_2, \mu_3, \mu_4). \quad (3)$$

Надежность и качество распознавания в значительной мере зависят от выбора системы информативных признаков для рассматриваемых классов объектов наблюдения. Поскольку необходимая для обработки радиолокационная информация получается в процессе радиолокационного слежения за движущейся ВЦ, то последняя порождает динамический образ в рассматриваемом классе задач распознавания. С учетом этого для решения задачи динамического распознавания ВЦ предлагается применять механизм агрегирования радиолокационной информации, полученной в различные последовательные моменты времени наблюдения.

Пусть в процессе радиолокационного наблюдения фиксируется состояние ВЦ в моменты времени

$$t_1 < t_2 < \dots < t_d,$$

причем им отвечают курсовые углы

$$\gamma(t_i), i=1:d.$$

Тогда на выходе приемника РЛС мы получаем семейство ДП:

$$\pi(\gamma(t_i), \xi), i=1:d. \quad (4)$$

Далее T - множество моментов времени съема радиолокационной информации:

$$T = \{t_i, i=1:d\}.$$

Блок-схема системы динамического распознавания ВЦ

Предлагаемую концепцию динамического распознавания ВЦ представляет блок-схема на рис. 3.

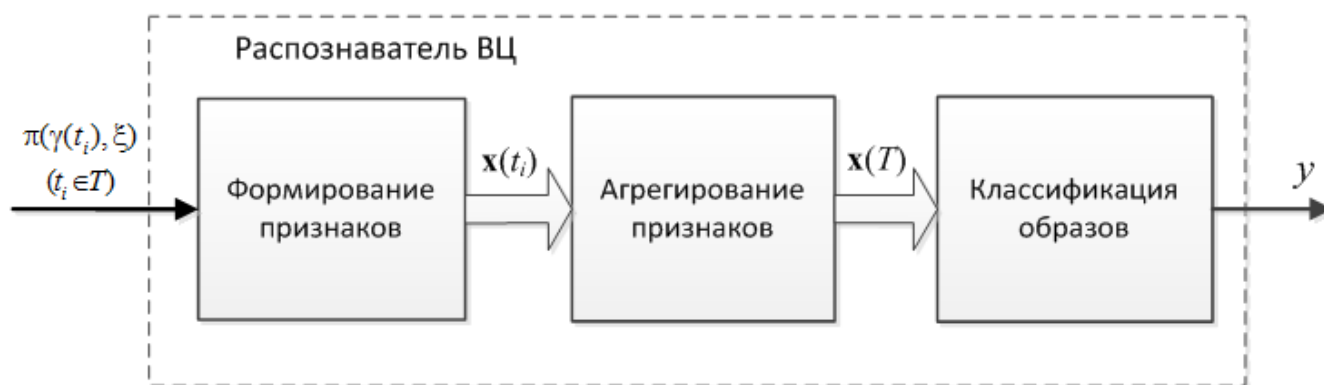


Рис. 3 – Схема распознавания ВЦ

Здесь для каждого ДП в (4) в соответствии с (1)–(3) формируется вектор признаков $\mathbf{x}(t_i)$, которые далее объединяются в один супервектор (посредством конкатенации векторов):

$$\mathbf{x}(T) = [\mathbf{x}(t_1), \mathbf{x}(t_2), \dots, \mathbf{x}(t_d)]. \quad (5)$$

Теперь мы имеем дело с расширенным пространством признаков \bar{X} - декартовой степенью исходного пространства признаков:

$$\mathbf{x}(T) \in \bar{X},$$

где

$$\bar{X} = X^d.$$

Именно вектор (5) и является динамическим образом ВЦ.

Классификация ВЦ на основе радиальных базисных сетей

Решения задачи классификации динамических образов можно основывать на технологиях искусственных нейронных сетей (НС). В работе исследовались функциональные возможности *радиально-базисных* (RBF - Radial Basis Functions) НС.

RBF-сети относятся к классу сетей прямого распространения. Архитектура сети представляется двумя слоями нейронов (рис. 4), без учёта входного слоя, выполняющего роль распределителя входных сигналов. Скрытые нейроны реализуют радиальные базисные функции активации.

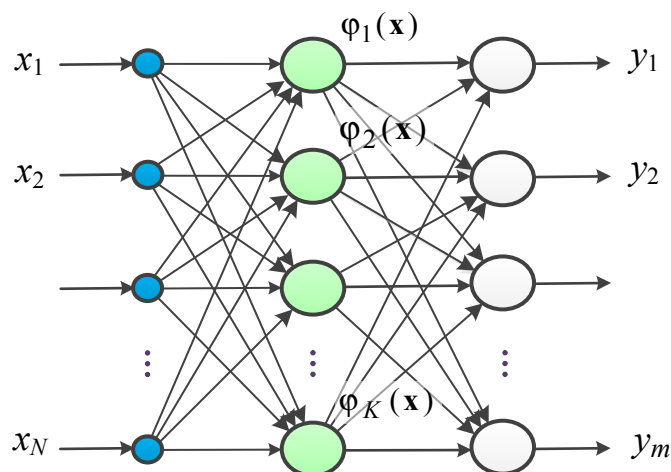


Рис. 4 – Архитектура сети RBF

Радиально-базисные функции имеют вид

$$\phi(\mathbf{x}) = F(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|),$$

где \mathbf{c} - центр функции, причем двойные прямые скобки $\|\cdot\|$ обозначают норму вектора. Предполагается, что функция монотонно убывает с удалением от центра \mathbf{c} . Ее можно интерпретировать как потенциал.

Наиболее распространённым видом радиальных функций активации является функция Гаусса [6]:

$$\phi(\mathbf{x}) = \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|^2 / 2\sigma^2),$$

где σ - параметр, определяющий размер активной области функции.

В сети функция активации j -го нейрона $\phi_j(\mathbf{x})$ определяется его центром \mathbf{c}_j . Выход сети формируется выходным слоем линейных нейронов:

$$y_i = \sum_{j=1}^K w_{ij} \phi_j(\mathbf{x}), \quad i = 1:m.$$

Таким образом, он определяется матрицей весовых коэффициентов $\mathbf{W}=[w_{ij}]$.

Роль скрытых нейронов заключается в группировке входных векторов на K классов, причем каждый класс ограничен в пространстве входных векторов некоторой изопотенциальной поверхностью

$$\phi_j(\mathbf{x}) = \text{const} > 0,$$

охватывающей центр класса \mathbf{c}_j .

В процессе обучения происходит кластеризация обучающей выборки (ОВ) с выделением K классов, область локализации которых определяется соответствующей радиальной функцией $\phi_j(\mathbf{x})$. Процесс кластеризации на каждой итерации предполагает выделение радиального нейрона, вектор весов которого в наименьшей степени отличается от входного вектора \mathbf{x} , и смещение вектора весов данного нейрона в сторону этого вектора. При этом применяются различные меры близости векторов, из которых наиболее часто встречается евклидова.

По завершению разделения входного пространства происходит настройка весовой матрицы \mathbf{W} выходного слоя. Задача его обучения сводится к минимизации расхождения фактической реакции сети и желаемой.

Раздельное обучение предполагает вначале разделение входного пространства на кластеры в радиальном слое, а затем обучение с учителем выходного линейного слоя.

Процесс обучения сети RBF сводится:

- к подбору центров \mathbf{c}_j и параметров σ_j формы базисных функций;
- к подбору весов нейронов выходного слоя.

Частным случаем RBF-сетей являются *вероятностные нейронные сети* (PNN - Probabilistic Neuron Networks) [7]. В структуре сетей PNN второй слой в отличие от сетей RBF представлен нейронами конкурирующего типа, которые подсчитывают условную вероятность принадлежности входного вектора к одному из выходных классов. При этом активируется только нейрон, суммарное значение входных сигналов которого наибольшее. Поэтому в качестве функции активации выходных нейронов применяется пороговая.

Характерной чертой PNN является то, что количество нейронов скрытого слоя берётся равным числу элементов обучающей выборки. Таким образом, учитывается влияние каждого примера из ОВ, а роль второго слоя сводится к объединению в заданные классы групп входных векторов из ОВ.

Результаты вычислительных экспериментов

В вычислительных экспериментах использовалась программа BSS, позволяющая генерировать эталонные ДП воздушных целей 10-и типов.

В принятой схеме распознавания (рис. 3) осуществлялось агрегирование входных данных для трех последовательных моментов времени, т.е. $d=3$. Поскольку размерность вектора признаков равна $n=14$, то используемая в классификаторе сеть PNN имеют $N=42$ входа. Число выходов равно $m=10$.

Обучающая выборка состояла из 2000 примеров, причем для каждого из 10 типов ВЦ использовалось 200 образцов ДП. Выборка была поделена на две части: большая часть (1700 примеров) предназначалась для настройки НС, а меньшая часть (300 примеров) - для тестирования НС. Вследствие этого в радиальный базисный слой сети включал $K=1700$ нейронов.

Моделирование НС осуществлялось в среде системы MATLAB - использовался пакет Neural Network Toolbox [8]. Архитектуру моделируемой НС демонстрирует рис. 5.

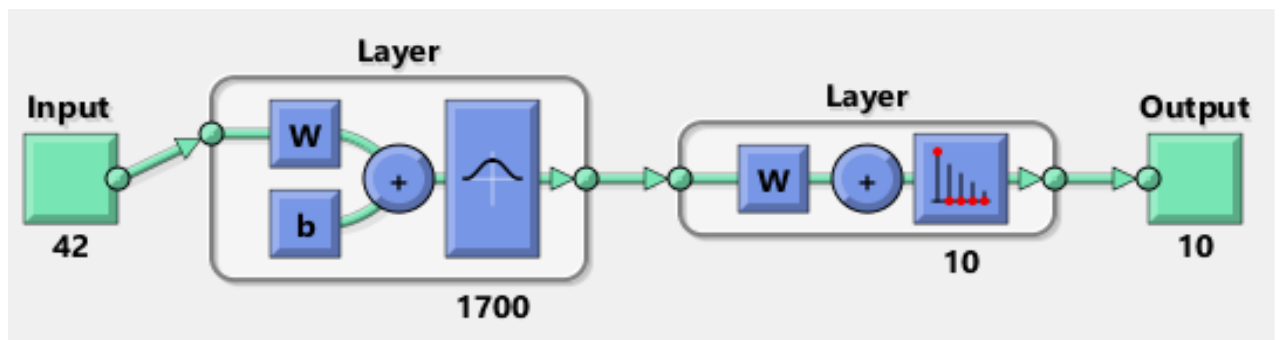


Рис. 5 – Архитектура сети PNN

Отметим, что, несмотря на большое количество нейронов, сеть PNN очень быстро обучается. Результаты тестирования НС подтверждают ее безошибочную работу.

Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2007. – 376 с.
2. Tait P. Introduction to radar target recognition. – London: Institution of Electrical Engineers, 2005. IET radar series no. 18. – 396 p.
3. Лещенко С.П. Развитие теории и техники радиолокационного распознавания воздушных целей // Прикладная радиоэлектроника. 2009. Т. 8, № 4. – С. 490-496.
4. Тоцкий А.В., Молчанов П.А., Пospelов Б.Б. Распознавание летательных аппаратов по радиолокационным дальностным профилям // Авиационно-космическая техника и технология. 2010. № 5 (72). – С. 77–82.
5. Ширман Я.Д., Горшков С.А., Лещенко С.П., Братченко Г.Д., Орленко В.М. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Зарубежная радиоэлектроника. 1996. № 11. – С. 3–63.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Изд. дом «Вильямс». 2006. – 1104 с.
7. Wasserman P.D. Advanced methods in neural computing. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. – P. 35–55.
8. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. 2010. – 496 с.

References

1. Bakulev P.A. Radiolokacionnye sistemy (Radar systems). M.: Radiotekhnika, 2007. – 376 s.
2. Tait P. Introduction to radar target recognition. London: Institution of Electrical Engineers, 2005. IET radar series no. 18. – 396 p.
3. Leshchenko S.P. Razvitie teorii i tekhniki radiolokacionnogo raspoznavaniya vozdushnyh celej (Development of the theory and technology of aerial target radar recognition) // Prikladnaya radioelektronika. 2009. T. 8, № 4. – С. 490-496.
4. Tockij A.V., Molchanov P.A., Pospelov B.B. Raspoznavanie letatel'nykh apparatov po radiolokacionnym dal'nostnym profilyam (Aircraft recognition using radar range profiles) // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. 2010. № 5 (72). – S. 77-82.
5. YA.D. Shirman, S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, G.D. Bratchenko, V.M. Orlenko Metody radiolokacionnogo raspoznavaniya i ih modelirovanie (Methods of radar recognition and simulation) // Zarubezhnaya radioelektronika. 1996. № 11. – С. 3-63.
6. Hajkin S. Neironnye seti: polnyj kurs (Neural networks: complete course) – M.: Izd. dom «Vil'jams». 2006. – 1104 s.
7. Wasserman P.D. Advanced methods in neural computing. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. – P. 35–55.
8. Medvedev B.C., Potemkin V.G. Neironnye seti. MATLAB 6 (Neural networks. MATLAB 6) – M.: DIALOG-MIFI. 2010. – 496 s.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.043

Шавалеева Д.Н.¹, Уразбахтин Р.Н.²¹ORCID: 0000-0002-3491-7576, Аспирант, ²ORCID: 0000-0002-5015-6770, Кандидат технических наук,

Уфимский государственный авиационный технический университет

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССА ЗАКУПКИ
НА ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой системы поддержки принятия решений для сопровождения процесса закупок на предприятии. Проведен анализ стадий процесса закупок и обоснована необходимость информационной поддержки данного процесса. На основе проведенного анализа предлагается использование системы поддержки принятия решений для более эффективной реализации процесса закупок на предприятии. Также в статье определены функции, структура и математический аппарат системы.

Ключевые слова: автоматизация, система поддержки принятия решений, процесс закупки.

Shavaleeva D.N.¹, Urazbakhtin R.N.²¹ORCID: 0000-0002-3491-7576, Postgraduate student, ²ORCID: 0000-0002-5015-6770, PhD in Engineering,

Ufa State Aviation Technical University

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE MAINTENANCE OF THE PROCUREMENT PROCESS
AT THE ENTERPRISE

Abstract

This article discusses the issues associated with the development of a decision support system for the maintenance of the procurement process at the enterprise. The analysis of the procurement process stages and the necessity of the process information support has been carried out. Based on the analysis the use of a decision support system for more effective implementation of the procurement process at the enterprise is provided. The article also defines the functions, structure and the mathematical formalism of the system.

Keywords: automation, decision support system, the procurement process.

Introduction

For the effective functioning of state enterprises it is necessary to fit up timely all the units with equipment, the acquisition of which may be carried out through the public procurement. Public procurement is competitive form of placing orders for goods, works and services for state or municipal needs on a pre-specified in the documentation of the conditions within the period stipulated in the principles of competitiveness, fairness and efficiency.

Public procurement is a complex multi-functional process that requires management and decision support.

The life cycle process

The life cycle of purchases is a stage of the process covering various state procurement from the date of the necessity in procurement and up to its full completion.

The essence of the procurement process representation in the form of life cycle is of the special strategic importance which is that the own strategy, the specific purposes, the marketing correspond to every one-of-a-kind stage.

Life cycle stages of the procurement process:

1. Scheduling is performed as a step in the process of formation.

At this stage the application of the enterprise structural units are formed and a single sheet of applications for the enterprise is constituted, indicating all the necessary information about the order. The order is divided into spheres of use and each area is assigned a code. The commission of experts using the mathematical apparatus of the theory of decision-making produces a ranking list. Control body verifies and confirms the limits of sheet application.

2. Stage of growth can be represented as filing and preparation of tender.

At this stage, a method of public procurement is chosen. If you select a competitive way, the application is sent to suppliers. And information on the application is available on the website of electronic trading. For each code listed in the application, its mailing list is organized. When registering a provider in e-trading system, he subscribes its interesting list.

3. The holding of a tender is as a maturity in this process.

Periods during which suppliers submit the proposals on delivery of the required goods are defined. At the appointed time the tender of those suppliers who meet order conditions is held.

After the termination of the tender the report on the held tender is created and the winner comes to light.

4. The stage of decline can be provided as the inference of the contract and delivery of goods.

The sentence selected and approved by purchasing department finally is coordinated with the supplier then the contract is signed and the plan of payments and deliveries (graphics) is created. Further there is a registration of the contract by control authority and entering of the contract in the unified register.

Information support of the process

High-quality software for the life cycle of such a complex process as the purchase is not possible without information support. Information support is the process of information security, user-oriented information, employment management of complex objects. Information support is used in the preparation and implementation of management decisions. [1] To optimize procurement activities undertaken by enterprises, there is necessary constant information support and the use of effective control technologies. When creating an information system it must be taken into account all the requirements of the legislation of the Russian Federation, which regulate the procurement of goods and services to legal entities.

The information system will manage the procurement activities of the company and facilitate the preparation and holding of tenders (competitive procurement procedures). Pay attention to the basic functions of the enterprise information system, providing information and help:

1. To leadership:

- To distribute roles and tasks between the procurement staff / departments, to control the timing and quality of their performance;

- To control the course of purchasing activities in real time by means of monitoring of target indexes;
- To analyze results and statistics of purchasing activities;
- To approve and agree on the purchase plan, financing of purchases and contracts with suppliers.

2. To purchasing department:

- To inform purchasers of goods, operations and services (production) which the companies are required;
- To provide purchasers with all information necessary for purchase of the required production;
- To trace procurement process of production which was requested;
- Possibility of carrying out expert estimates;
- To keep account of all necessary attributes and conditions of contracts with suppliers;
- To control performance of contracts by suppliers, to keep account of the actual periods and workmanship of obligations;
- To keep account and monitoring payments by suppliers.

3. To purchasers and suppliers:

- To create lots based on the required production;
- To develop and agree on the purchase plan;
- To create detail the plan diagrams of preparation and carrying out procurement procedures;
- To unload data and documents for the statement and the publication of the purchase plan;
- To organize operations on creation of purchasing documentation, publication of procedures, collection of requests of participants, an expert assessment of requests, a choice of the winner of procurement procedure;
- To keep account of information on the course of carrying out procurement procedures;
- To create reports on purchases for a manual, the higher organizations and government bodies;
- To save and, afterwards, quickly to find any documents created during purchasing activities;
- To automate operation with ETP (electronic trading platforms).

Decision Support System of the process

Information support carries only information assistance, placing all decisions entirely on the user. For not only information, but also support the implementation of true solutions the functions of decision support system (DSS) should be used, using various methods.

DSS is designed to support multiple criteria decision in a complex IT environment. In this case, under the multicriteria is understood as the fact that the results of decisions are assessed not by one, but by a set of multiple indicators (criteria) considered simultaneously. Information complexity is determined by the need to accommodate a large volume of data, the processing of which without the aid of modern computer technology is almost impossible. Under these conditions, the number of possible solutions are usually very large, and selecting the best one "by eye", without the full analysis can result in serious errors in [2,3]. DSS scheme is presented in Picture 3. Decision support system DSS solves two main tasks: selection of the best of the many possible solutions (optimization); ordering of possible solutions to preference (ranking).

In both problems the first and most fundamental point is the choice of the criteria set on which the possible solutions will be evaluated and compared. DSS system helps the user to make a choice.

Conclusion

The important component of economic stability of the enterprises is control enhancement, including the use of the modern economic-mathematical methods and ADP equipment for the solving control problems. Now without developed management information system and all its subsystems even the advanced enterprises having the most qualified administrative staff aren't able to satisfy to the modern market relations.

The development and deployment of computer support of decision-making in management information systems at the industrial enterprises results in the need of creation of the decision-making mathematical models allowing to analyze problem situations of specific data domain typical for difficult production systems all-up and comprehensively. The problem solution of administrative processes optimization requires the development of the models which are adequately considering cumulative influence of a large number of factors on administrative decisions.

In article the following questions were considered:

Research of the purchase execution process at the enterprise is made;

The use of decision making support system and reasons for its usage is offered;

The software of decision making support system is offered.

References

1. Grekul V.I., Denishchenko G.N., N.L. Korovkina "Design of Information Systems", Publishing House "Williams", Moscow, 2008.
2. Terelyansky P.V. "Decision Support Systems. Experience in design, "VSTU, Volgograd, 2009.
3. Larichev I.O. "Theory and methods of decision-making, as well as a chronicle of events in the magical land of" Logos, Moscow, 2003.
4. Blyumin S.L., Shuykova I.A. "Models and methods of decision-making in the conditions of uncertainty", LEGI, Lipetsk, 2001.
5. Krasnikova D.N., Urazbakhtin R.N. "decision making support system for completing of technical resources of transport enterprise". Actual problems of science and technique. Eighth All-Russian winter school seminar of graduate students and young scientists. Collection of scientific works. Volume 1. Information and infocommunication technologies. 2013; 195-196.