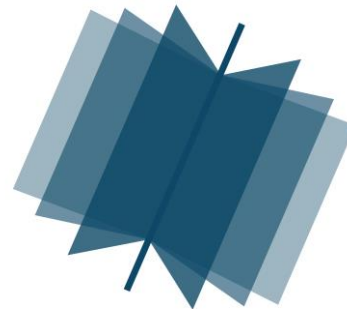


**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

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

Екатеринбург
2017



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

**№ 09 (63) 2017
Часть 3
Сентябрь**

Подписано в печать 18.09.2017.
Тираж 900 экз.
Заказ 26199.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

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: Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук, Ходакова Н.П., д-р пед. наук, проф.

Психологические науки: Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук, Каменская В.Г., д-р психол. наук, к. биол. 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: Ураков А.Л., д-р мед. наук, 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: Костенко Р.В., 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, Скачилова С.Я., 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: Тринеева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РАНЖИРОВАНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	6
ПЕНОБЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МИНЕРАЛЬНЫМИ И ВОЛОКНИСТЫМИ ДОБАВКАМИ.....	9
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТИ	13
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	17
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛИ В СРАВНЕНИИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	25
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЦ.....	31
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АДАПТИВНО – СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ	36
ХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЙНОСТЬ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, СИНТЕЗИРОВАННОЙ В РЕЖИМЕ СВС-Аз.....	39
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ПРИ ЕГО РАСПОЛОЖЕНИИ НА ТОРЦЕВОЙ СТЕНКЕ ТРУБЫ	44
ОЦЕНКА ВЫСОКОБЕЛКОВОГО ПРЕПАРАТА «ЗООПРОТЕИН» В КАЧЕСТВЕ КОРМА ДЛЯ КОШЕК.....	49
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ IT-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	53
SOLUTION OF THE PROBLEM OF MODELING OF BUSINESS PROCESSES IN IT-COMPANY WITH THE USE OF THE PARTICLE SWARM METHOD	53
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ИК – СУШКИ ТОМАТОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ	58
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХЛОРИДАМИ МЕТАЛЛОВ.....	62
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕПРЕРЫВНОГО ПОИСКА ЕЕ ГРАНИЧНЫХ ТОЧЕК.....	68
СОСТАВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ МЕТОДАМИ ГИС НАД РАЗРАБОТКОЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	72
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ В БЕТОНАХ	78
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОЧЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ-ИНСТРУМЕНТОМ В ПАССИВИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ	82

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАССО- И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССАХ ЭЖЕКЦИИ И ИНЖЕКЦИИ.....	87
ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ НАБОРОВ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	92
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ПОЛИНОМЫ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ	96

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.034>Архирейский А.А.¹, Султанов Н.З.²¹ORCID: 0000-0003-2289-2583, Соискатель, ²доктор технических наук, профессор,

Оренбургский государственный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РАНЖИРОВАНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация

Рассмотрено применение теории важности критериев к многокритериальному выбору мероприятий по повышению уровня качества процессов технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Обосновано использование метода парных сравнений для получения и анализа качественной информации о важности критериев, используемых в системе добровольной сертификации услуг на автомобильном транспорте. Приведен пример выбора комплекса мероприятий по повышению уровня качества для конкретного предприятия автомобильного сервиса.

Ключевые слова: повышение качества, автосервис, экспертные оценки.

Arkhireiskiy A.A.¹, Sultanov N.Z.²¹ORCID: 0000-0003-2289-2583, External Doctorate Student, ²PhD in Engineering, Professor,

Orenburg State University

USE OF EXPERT ESTIMATES IN THE RANKING OF ACTIVITIES AIMED AT INCREASING THE LEVEL OF QUALITY OF MAINTENANCE AND REPAIR OF VEHICLES

Abstract

The article considers the application of the theory of the criteria importance to the multi-criteria choice of measures aimed at improving the quality level of maintenance and repair of vehicles. The use of the method of paired comparisons for obtaining and analyzing qualitative information about the importance of the criteria used in the system of voluntary certification of services in road transport is justified. An example of the choice of a set of measures aimed at improving the level of quality for a particular automobile service enterprise is given.

Keywords: improvement of quality, car service, expert estimates.

Возрастающая конкуренция и достаточно сильная дифференциация услуг автосервиса ведет к снижению роли цены в выборе поставщика. На первый план выходит качество технического сервиса, которое включает качество обслуживания автовладельцев и качество процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей (ТО и Р А).

Важную роль в повышении качества технологических процессов играет обеспечение их необходимыми видами ресурсов, количество которых ограничено. В связи с разнообразием процессов, процедур и операций выполняемых при ТО и Р А сложно использовать точные количественные оценки при выборе мероприятий повышающих уровень качества. Для принятия подобных решений часто используют знания и мнения экспертов. При обработке мнений экспертов необходимо использовать математический аппарат и процедуры, уменьшающие уровень субъективизма экспертных оценок [1].

Известен подход к ранжированию мероприятий по увеличению доходов предприятия автосервиса путем опроса экспертов [2]. Каждому эксперту предлагали присвоить мероприятию ранг в соответствии с влиянием на увеличение дохода предприятия. При обработке ранжировок рассчитывался коэффициент конкордации (коэффициент согласия Кендалла). На основе его значения, говорили о согласованности мнений экспертов. Мероприятия ранжировали по значению суммы рангов.

В отличие от ранжирования, при парном сравнении мероприятий можно получить более точное отражение предпочтений экспертов. При этом способе, каждый раз эксперту приходится делать выбор всего из двух мероприятий, что проще, чем упорядочить несколько. Метод парных сравнений привлекает больший объем информации, чем ранжирование [3]. Например, при сравнении шести мероприятий метод парных сравнений даст $(6-1)/2 = 15$ бит, тогда как ранжирование только $\log_2(6!) = 9,49$ бит информации. Больший объем привлекаемой информации позволит повысить обоснованность выбора мероприятия по повышению качества.

Качество является сложным свойством, включающим много аспектов. Поэтому сравнивать мероприятия по степени их влияния на уровень качества напрямую эксперту очень сложно. В связи с этим, экспертам необходимо предлагается производить оценку помощи критериев, характеризующих определенные аспекты качества.

Предложена методика ранжирования мероприятий по повышению уровня качества процессов ТО и Р А [4], включающая следующие этапы:

- разработка массива мероприятий;
- объединение мероприятий в комплексы;
- оценка комплексов мероприятий по принятой системе критериев;
- анализ о качественной важности критериев;
- ранжирование мероприятий методами теории важности критериев.

Принятие решения о выборе мероприятий повышающих уровень качества процессов ТО и Р А необходимо начинать с формирования массива отдельных мероприятий. Мероприятия должны быть направлены на максимальное решение проблем, обнаруженных при изучении недостатков в ресурсном обеспечении процессов ТО и Р А. Число конкретных мероприятий должно быть не менее 10-12. Затем эти мероприятия необходимо объединить в 3-4

комплекса мероприятий, примерно соизмеримых по стоимости реализации и эксплуатации.

Ранжировать комплексы мероприятий по влиянию на повышение уровня качества предложено с помощью критериев (K_1, \dots, K_6), используемых в органе по сертификации услуг на автомобильном транспорте, действующем на базе транспортного факультета Оренбургского государственного университета [5], [6]. Значения критериев определяются опросом экспертов и характеризуют: организационно-технического обеспечения производства (K_1); состояние зданий и сооружений (K_2); технологическое оборудование и оснастку (K_3); кадровое обеспечение (K_4); состояние контрольно-диагностического, испытательного оборудования и средств измерений (K_5); нормативную и технологическую документацию предприятия (K_6).

К особенностям критериев можно отнести следующее:

- 1) критерии характеризуют различные факторы, определяющие уровень качества процессов ТО и Р А;
- 2) критерии хорошо зарекомендовали себя в период действия обязательной сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств [5];
- 3) критерии являются однородными, то есть имеют общую шкалу измерений.

К отрицательным свойствам данных критериев можно отнести:

- 1) значения критериев определяются в результате опроса экспертов, что снижает их объективность;
- 2) значения критериев измерены в порядковой шкале, что накладывает ограничения на используемые методы обработки;
- 3) достаточно высокий уровень парной корреляции значений различных критериев.

Согласно методике [4] каждый комплекс мероприятий описывается векторной оценкой из значений шести критериев:

$$KM(j) = (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6),$$

где K_i – значение i -го критерия;

j – количество комплексов мероприятий (KM).

В случае, когда производится ранжирование небольшого числа комплексов мероприятий (3-4 мероприятия) достаточно упорядочить их по каждому критерию. Номер места полученного комплексом мероприятий, ранжированным по определенному критерию, и будет значением этого критерия. Обобщенное ранжирование для нескольких экспертов можно получить, используя квантильный метод [7].

Выбор оптимальной альтернативы по многим критериям, часто производят комплексным методом, по значению взвешенной линейной свертки этих критериев [8]. Важным ограничением использования взвешенной линейной свертки является взаимная независимость значений критериев. Это условие не выполняется в случае используемой системы критериев [9].

Выбор оптимального комплекса мероприятий предложено производить на основе методов теории важности критериев, развиваемой в работах профессора В.В. Подиновского [10]. Основным принципом теории важности критериев является принцип Эджворта-Парето. В соответствии с ним векторная оценка $KM(j)$ оптимального комплекса мероприятий, должна принадлежать множеству парето-оптимальных оценок [10]. Таких оценок может быть несколько. Для выбора единственного комплекса мероприятий привлекают дополнительную информацию о важности критериев. Эту информацию можно получить методом парных сравнений [11]. Для случаев, когда эксперты могут полностью заполнить матрицу парных сравнений, информацию можно получать путем вычисления собственных значений и векторов [12].

Используя полученную информацию, можно получить ранжирование комплексов мероприятий по всем критериям методом теории важности критериев [10].

Рассмотрим использование предложенной методики для конкретной ситуации. В связи с участием в торгах на оказание услуг бюджетному предприятию были разработаны комплексы мероприятий направленных на повышение уровня качества процессов ТО и Р А. Векторные оценки двух из них принадлежали к множеству парето-оптимальных: $KM(1) = (2, 2, 1, 2, 1, 2)$; $KM(2) = (1, 2, 2, 1, 2, 2)$.

Первый комплекс мероприятий предполагал организацию повышения квалификации персонала, приобретение лицензионного комплекта программ для организации документооборота и приобретение установки для очистки салона автомобиля. Второй комплекс мероприятий предполагал приобретение ультразвуковой установки для очистки форсунок двигателя, приобретение прибора для проверки технического состояния тормозной системы и оснащение рабочего поста терминалом, связанным с компьютером мастера приемщика.

При отсутствии информации о качественной важности критериев ($\Omega = 0$), комплексы мероприятий неразличимы по Парето. Для ранжирования комплексов мероприятий методом теории важности критериев проведем исследование важности критериев путем обработки мнений экспертов методом парных сравнений.

При опросе возникали ситуации, когда в ответах экспертов проявлялись противоречия, так называемые циклические триады [11]. Важно понимать, можно ли считать число таких триад в матрице парных сравнений случайным или нет. Выяснить это возможно используя основные положения теории ранговых корреляций [13].

В результате опроса четырех экспертов были получены следующие значения числа предпочтений i -го критерия над остальными a_i : $a_1 = 3,5$; $a_2 = 10,5$; $a_3 = 19$; $a_4 = 7,5$; $a_5 = 17$; $a_6 = 2,5$. Проверка согласованности мнений экспертов проводилась по значению коэффициента согласия Кендэла. Для этого по исходным таблицам парных сравнений было рассчитано число совпадений мнений между парами экспертов (Σ). Далее по значению Σ для четырех экспертов и шести критериев рассчитано значение коэффициента согласия $u = 0,68$. Проверку статистической существенности значения коэффициента согласия осуществим с помощью распределения χ^2 . Для этого рассчитаем значение χ^2 и число степеней свободы v по рекомендациям Кендэла [13]. Полученные значения $\chi^2 = 106$ и $v = 45$ соответствуют значению вероятности $P(106; 45) = 0,78 \cdot 10^{-7}$, что много меньше уровня значимости $\alpha = 0,01$. Следовательно, гипотеза о несогласованности мнений экспертов отвергается на высоком уровне статистической значимости.

Для принятия решения о выборе оптимального комплекса мероприятий из двух парето-оптимальных необходимо определить важность критериев. По значениям критериев К2 и К6 эти комплексы мероприятий не различимы. Важность критериев К3 и К5 значительно больше важности критериев К1 и К4. Проведем статистическую проверку наличия значимых отличий между критериями указанными критериями. Для этого используем рекомендации Старкса и Дейвида [14]. Выдвигаем гипотезу H_0 , что важности К3 и К5 равны. Принимаем уровень значимости $\alpha = 0,05$, рассчитываем критическую разность $m_c = 1,64 \cdot (6-4/2)^{0,5} + 0,5 = 6,181$ и округляем его до ближайшего целого числа в большую сторону. Разница $|a_3 - a_5| = 2 < 7$, это означает, что гипотеза H_0 не отвергается. Аналогично проверяем гипотезы о значимости разницы между К1 и К4 и, например, К3 и К1. В результате получаем информацию важности критериев $\Omega = \{K5 \approx K3 \Phi K1 \approx K4\}$. Используя полученную информацию можно видеть, что векторная оценка первого комплекса лучше второй, так как имеет лучший показатель по критериям К5 и К3.

Использование основных положений теории важности критериев и метода парных сравнений позволит повысить обоснованность управленческих решений при ранжировании комплексов мероприятий по повышению качества процессов ТО и Р А. Большое количество информации привлекаемое к принятию управленческих решений позволит увеличить эффективность предприятий автосервиса за счет снижения сроков окупаемости капитальных вложений в мероприятия по повышению качества.

Список литературы / References

1. Экспертные технологии в транспортных системах / Б.А. Портников, К.Ю. Дибихин, Н.З. Султанов и др. – Оренбург, ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 274 с.
2. Напольский, Г.М. Обоснование мероприятий по повышению эффективности СТО легковых автомобилей: методические указания к деловой игре / Г.М. Напольский, Г.Ш. Муравкина, А.А. Солнцев — М.: МАДИ, 2010. – 20 с.
3. Давнис, В.В. Прогнозные модели экспертных предпочтений: монография / В.В. Давнис, В.И. Тинякова. – Воронеж: Изд-во ВорГУ, 2005. – 248 с.
4. Архирейский А. А. Деловая игра "Ранжирование мероприятий по повышению уровня качества процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей" / А. А. Архирейский. – Оренбург : ОГУ. – 2017. – URL: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/34061_20170217.pdf (дата обращения: 27.07.2017).
5. Якунин, Н.Н. Параметрическая оценка состояния услуг по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей с позиции требований системы сертификации ГОСТ Р [Текст] / Н.Н. Якунин, Н.В. Игнатова // Вестник ОГУ. – 2000. – №2. – С. 92-100. – Библиогр.: с. 100.
6. Архирейский А. А. Результаты исследования относительной важности критериев оценивания качества процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей по критериям системы сертификации / А. А. Архирейский // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — № 03 (57) Часть 4. — С. 12—15. doi: 10.23670/IRJ.2017.57.106
7. Тюрин, Ю.Н. Непараметрические методы статистики / Ю.Н. Тюрин. – М. : Знание, 1978. – 64 с.
8. Варнаков, В.В. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения / В.В. Варнаков, В.В. Стрельцов, В.Н. Попов, В.Ф. Карпенков – М.: КолосС, 2003. – 253 с.
9. Архирейский, А.А. Комплексная оценка соответствия автосервиса требованиям системы сертификации / А.А. Архирейский, Н.Н. Якунин // Сборник докладов VIII Российской научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах». – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2007. – С. 31–38.
10. Подиновский, В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 64 с. ISBN 978-5-9221-0743-3.
11. David H. A. The Method of Paired Comparisons / H. A. David – New York: Oxford University Press, 1988. – 188 p.
12. Архирейский, А. А. Методика выбора исполнителя услуг на автомобильном транспорте / А.А. Архирейский // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – №4 (179). – С. 4–9.
13. Kendall M. G. Rank Correlation Methods / M. G. Kendall. – London: Charles Griffin & Company Limited, 1948. – 160 p.
14. Starks, T. H., David H. A. Significance Tests for Paired-Comparison Experiments / T. H. Starks, H. A. David // Biometrika. - 1961. - Vol. 48, no. 1/2. - P. 95–108. doi:10.2307/2333134

Список литературы на английском языке / References in English

1. Jekspertnye tehnologii v transportnyh sistemah [Expert technologies in transport systems] / B.A Portnikov, K.Ju. Dibihin, N.Z. Sultanov and others – Orenburg: IPK GOU OGU, 2007. – 274 p. [in Russian]
2. Napol'skij, G.M. Obosnovanie meroprijatij po povysheniju jeffektivnosti STO legkovykh avtomobilej: metodicheskie ukazaniya k delovoj igre [Substantiation of measures to increase the efficiency of passenger car maintenance stations: methodological instructions for a business game] / G.M. Napol'skij, G.Sh. Muravkina, A.A. Solncev — M.: MADI, 2010. – 20 p. [in Russian]
3. Davnis, V.V. Prognozyne modeli jekspertnyh predpochtenij: monografija [Forecast models of expert preferences: monograph] / V.V. Davnis, V.I. Tinjakova. - Voronezh: Izd-vo VorGU, 2005. - 248 p. [in Russian]
4. Arhirejskij A. A. Delovaja igra "Ranzhирование meroprijatij po povysheniju urovnja kachestva processov tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej" [Business game "Ranking of measures to improve the level of quality of maintenance and repair of cars "] / A. A. Arhirejskij. - Orenburg : OGU. – 2017. – URL: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/34061_20170217.pdf (accessed: 27.07.2017). [in Russian]
5. Jakunin, N.N. Parametricheskaja ocenka sostojanija uslug po tehničeskomu obsluzhivaniyu i remontu avtomobilej s pozicii trebovanij sistemy sertifikacii GOST R [Parametric assessment of the condition of services for maintenance and repair of vehicles from the standpoint of the requirements of the GOST R certification system] / N.N. Jakunin, N.V. Ignatova // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. - 2000. - №2. - P. 92-100. [in Russian]

6. Arhirejskij A. A. Rezul'taty issledovanija odnositel'noj vazhnosti kriteriev ocenivaniya kachestva processov tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej po kriterijam sistemy sertifikacii [Results of research of relative importance of criteria for quality assessment of vehicles maintenance and repair processes by criteria of the certification system] / A. A. Arhirejskij // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. — 2017. — № 03 (57) Chast' 4. — P. 12—15 doi: 10.23670/IRJ.2017.57.106. [in Russian]
7. Tjurin, Ju. N. Neparametricheskie metody statistiki [Nonparametric methods of statistics] / Ju. N. Tjurin. — M. : Znanie, 1978. — 64 p. [in Russian]
8. Varnakov, V.V. Tehničeskij servis mashin sel'skohozjajstvennogo naznachenija [Technical service machines for agricultural purposes] / V.V. Varnakov, V.V. Streletsov, V.N. Popov, V.F. Karpenkov - M. : KolosS, 2003. - 253 p. [in Russian]
9. Arhirejskij, A.A. Kompleksnaja ocenka sootvetstvija avtoservisa trebovanijam sistemy sertifikacii [Comprehensive assessment of the conformity of the car service to the requirements of the certification system] / A.A. Arhirejskij, N.N. Jakunin // Sbornik dokladov VIII Rossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii «Progressivnye tehnologii v transportnyh sistemah» [Collection of reports of the VIII Russian Scientific and Practical Conference «Progressive technologies in transport systems»]. — Orenburg : GOU OGU, 2007. — P. 31—38. [in Russian]
10. Podinovskij, V.V. Vvedenie v teoriju vazhnosti kriteriev v mnogokriterial'nyh zadachah prinjatija reshenij [Introduction to the theory of the importance of criteria in multicriteria decision-making problems] / V.V. Podinovskij. — M. : FIZMATLIT, 2007. — 64 p. [in Russian]
11. David H. A. The Method of Paired Comparisons / H. A. David — New York: Oxford University Press, 1988. — 188 p.
12. Arhirejskij, A.A. Metodika vybora ispolnitelja uslug na avtomobil'nom transporte [Technique of choice of the services performer on the motor transport] / A.A. Arhirejskij // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. - 2015. - №4 (179). - P. 4-9. [in Russian]
13. Kendall M. G. Rank Correlation Methods / M. G. Kendall. — London: Charles Griffin & Company Limited, 1962. — 160 p.
14. Starks, T. H., David H. A. Significance Tests for Paired-Comparison Experiments / T. H. Starks, H. A. David // Biometrika. - 1961. - Vol. 48, no. 1/2. - P. 95—108. doi:10.2307/2333134

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.014>

Бартьева Е.А.¹, Машкин Н.А.²

¹Аспирант, ²доктор технических наук, профессор,

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ПЕНОБЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МИНЕРАЛЬНЫМИ И ВОЛОКНИСТЫМИ ДОБАВКАМИ

Аннотация

Представлены результаты исследования эффективных модификаторов для приготовления пенобетона естественного твердения. Теоретические исследования показали, что волокнистые добавки повышают агрегативную устойчивость пенобетонной смеси. Для повышения адгезии добавок с цементным камнем предложено использовать минеральные добавки, такие как волластонит и диопсид. Установлено, что при введении волластонита и диопсида снижается средняя плотность материала, коэффициент теплопроводности за счет повышения газоудерживающей и агрегативной устойчивости пенобетонной смеси. Показано, что при введении рекомендуемых минеральных добавок происходит более полная гидратация минералов портландцемента. Результаты исследований подтверждают, что пенобетон с добавками диопсида и волластонита для устройства теплоизоляции стеновых конструкций экономически целесообразно.

Ключевые слова: теплоизоляционный пенобетон, минеральные дисперсные и волокнистые добавки, белковый пенообразователь.

Bartenieva E.A.¹, Mashkin N.A.²

¹Postgraduate student,

²PhD in Engineering, Professor,

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

FOAM CONCRETE MODIFIED WITH MINERAL AND FIBER ADDITIVES

Abstract

The article contains the results of the study of effective modifiers for the preparation of foam concrete of natural hardening. Theoretical studies show that fiber additives increase the aggregative stability of the foam concrete mix. To increase the adhesion of additives with cement stone, it is suggested to use mineral additives, such as wollastonite and diopside. It is established that with the introduction of wollastonite and diopside, the average density of the material and the coefficient of thermal conductivity decrease due to an increase in gas-retaining and aggregative stability of the foam concrete mixture. It is shown that with the introduction of the recommended mineral additives, more complete hydration of Portland cement minerals occurs. The results of the research confirm that the foam concrete with additives of diopside and wollastonite for the thermal insulation of wall structures is economically feasible.

Key words: heat-insulating foam concrete, mineral dispersed and fibrous additives, protein foaming agent.

Одной из важнейших задач в строительстве является энерго- и ресурсосбережение. Существенное влияние на решение данной проблемы оказывает термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий и сооружений, а также энергоёмкость технологических процессов. Неавтоклавный пенобетон обладает относительно простой технологией производства, невысокой теплопроводностью, достаточной прочностью [1, С. 5], [2], [3]. Однако

производство данного материала связано со значительной усадкой, образованием трещин при тепловой обработке, что сдерживает темпы развития производства пенобетона естественного твердения [1, С. 87], [4, С. 56], [5, С. 517], [6, С. 12].

При изготовлении пенобетона естественного твердения применяется техническая пена, которая с течением времени начинает разрушаться. Если к этому времени в структуре материала не образовались устойчивые связи, необходимые для поддержания пористой структуры, то будет происходить усадка пенобетонной смеси. Что способствует образованию неоптимальной пористой структуры пенобетона, повышению средней плотности, увеличению теплопроводности. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, для снижения усадки пенобетона, повышения однородности структуры используют волокнистые добавки [2, С. 57], [4, С. 57], которые повышают агрегативную устойчивость пенобетонной смеси, армируют межпоровые перегородки, уменьшают пористость, повышают прочность [7, С. 60], [8, С. 128]. Проведенные ранее исследования показывают, что при введении волокон приповерхностный слой более плотный по сравнению с монолитом, однако при разрушении материала разрыв идет по контактному слою, что является следствием плохой адгезии цементного камня и волокон. Для улучшения сцепления можно использовать добавки волластонита и диопсида, которые обладают химическим родством к соединениям, входящим в состав цементного камня, и близки к нему по плотности, значениям удельной энтальпии образования и энтропии [10, С. 115]. Предполагается, что использование таких добавок окажет необходимый микроармирующий и упрочняющий эффект на межпоровые перегородки пенобетона.

Задача данной научно-исследовательской работы – получение неавтоклавного пенобетона заданной прочности с пониженной плотностью и теплопроводностью.

В качестве сырьевых материалов применялись: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 производства ОАО «Искитимцемент» (ГОСТ 5382-91), кислая зола-уноса ТЭЦ-5 г. Новосибирска [9], пенообразователь «FoamСem» Laston Italiana S.p.A (ASTM 869-80), вода водопроводная.

Из минеральных добавок использовали волластонит Алтайского месторождения и диопсид Слюдянского месторождения. Истинная плотность волластонита равна 2455 кг/м^3 , химический состав, мас. %: SiO_2 – 46,1; Al_2O_3 – 2,93; Fe_2O_3 – 4,44; CaO – 45,12; MgO – 0,9; п.п.п. – 0,51. удельная поверхность составляла $100 \text{ м}^2/\text{кг}$. Химический состав диопсида, мас. %: CaO – 25,03, MgO – 20,01; SiO_2 – 51,33, Al_2O_3 – 1,88; Fe_2O_3 – 0,84; MgO – 20,01; K_2O – 0,17, TiO_2 – 0,14; п.п.п. – 0,61; истинная плотность – 2778 кг/м^3 , удельная поверхность – $100 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Для сравнения в исследовании применяли волокнистые добавки: волокно стеклянное рубленое марки ЕС 13-12-4С (Армпласт) с длиной волокон 12,3 мм и диаметром 13,7 мкм, а также базальтовая фибра с длиной волокон 12 мм, диаметром 12 мкм.

Приготовление пенобетона осуществлялось на турбулентном пенобетоносмесителе двустадийным способом, твердение происходило в естественных условиях.

По результатам проведенного исследования в таблице 1 приведены сводные данные физико-механических и эксплуатационных характеристик разработанных составов пенобетона естественного твердения.

Анализ показывает, что предлагаемые составы для производства пенобетонных изделий с минеральными добавками (волластонитом и диопсидом) обеспечивают снижение средней плотности до марки D300, коэффициента теплопроводности до 41-43% по сравнению с контрольным составом. Для дисперсно-армированного пенобетона волокнами эти показатели выше. При введении минеральных добавок в смесь происходит оптимальное упрочнение растворной части, что позволяет при получении пенобетона вовлекать в смесь большее количество воздуха и удерживать его до затвердевания за счет оптимальной пластической прочности межпоровых перегородок.

Таблица 1 – Физико-механические показатели разработанного пенобетона

Показатели	Наименование				
	Контрольный	Диопсид	Стеклянная фибра	Базальтовая фибра	Волластонит
Средняя плотность, кг/м^3	547	274	394	387	375
Предел прочности при сжатии, МПа	1,22	0,57	0,67	0,78	1,00
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	0,122	0,069	0,097	0,095	0,070
Предел прочности при изгибе, МПа	0,95	0,70	0,72	0,96	0,84

Значение прочности при изгибе для пенобетона с базальтовой фиброй остается таким же при снижении марки по плотности до 400. Для других образцов по сравнению с контрольным показатели прочности при изгибе меньше, уменьшение значений для пенобетона с добавкой стеклянной фибры (D400) составляет 24%, диопсида (D300) – 26%, волластонита (D400) – 12%. Обеспечение достаточной прочности при изгибе пенобетона с минеральными добавками в соответствии с маркой по плотности может быть связано для состава с диопсидом с более высокой твердостью добавки по сравнению с цементным камнем. В таком случае добавка принимает напряжения на себя, что в целом повышает прочность материала [10, С. 115]. Волластонит же имеет игольчатую форму частиц, которая позволяет микроармировать межпоровые перегородки.

По данным набора прочности образцов пенобетона во времени (рис. 2) получены следующие данные: введение диопсида обеспечивает 51% набора прочности на 14 сутки, а волластонита – 68%, для зольного пенобетона – 77% (что составляет отпускную прочность). При введении базальтовой фибры прочность на 14 сутки достигает 76,2%, а пенобетона со стеклянной – 86%.

По результатам рентгеноструктурного анализа (рис. 3) можно отметить, что исследуемые образцы содержат минералы: карбонат кальция CaCO_3 (38.60, 28.80, 25.00, 22.90, 22.10, 19.10, 18.80) нм, гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (49.20, 31.10, 30.40, 26.30, 18.00) нм – портландит, силикат кальция Ca_2SiO_4 – (27.80, 20.60, 19.80, 16.20) нм, α -кварц SiO_2 (33.50, 42.70, 18.20, 13.70) нм, гиrolит $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_2$) (79.00, 46.50, 42.80, 38.40, 33.60, 31.10, 22.90, 20.90, 20.60, 19.90, 18.80) нм, $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}$ фаза x (84.50, 19.14) нм. Линии интенсивности всех исследуемых образцов практически совпадают, но по разнице в интенсивности можно сделать вывод, что образцы различаются по процентному содержанию минералов.

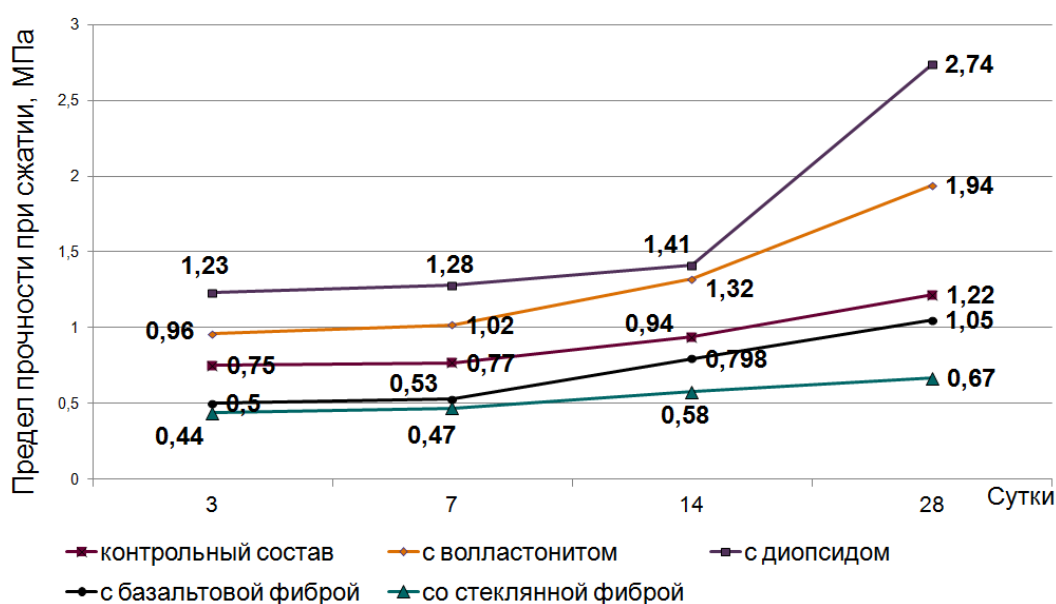


Рис. 2 – Кинетика твердения образцов пенобетона с добавками

О количественном отношении продуктов гидратации можно косвенно судить по интенсивности дифракционного отражения гидроксида кальция (49.20 нм), более высокая интенсивность характерна для образцов с добавкой волластонита по сравнению с контрольными образцами, что указывает на большую степень гидратации цемента. Для образцов в присутствии диопсида интенсивность линии при $d/n = 49.20$ нм несколько ниже, чем для контрольного пенобетона, однако ширина пика немного меньше, что можно считать более высокой степенью кристаллизации.

На рентгенограмме обнаруживается также непрогидратированный C_2S (27.84, 27.40) нм, присутствие таких линий указывает на незавершенность процесса кристаллизации гидратации водных силикатов кальция и образования выделяющихся фаз в возрасте 28 суток. По данным рентгенограмм наименьшая интенсивность у образцов с волластонитом, диопсидом, сильнее интенсивность у образца со стеклянной фиброй, примерно такая же у контрольного образца, а наибольшая соответствует образцу с базальтовой фиброй.

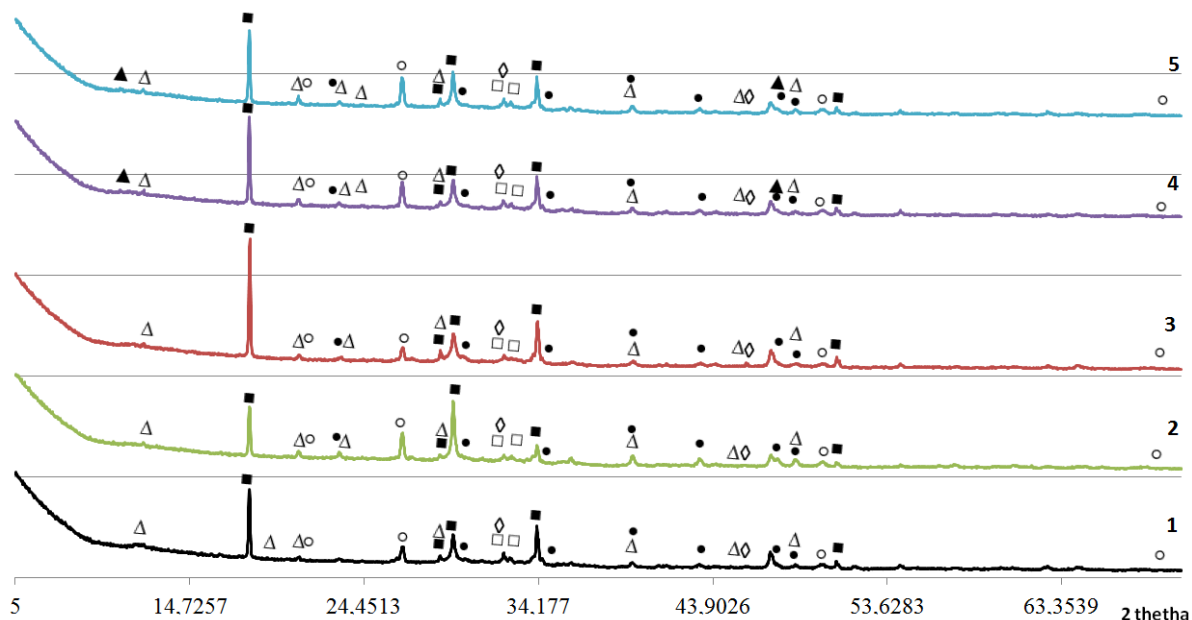


Рис. 3 – Рентгенограммы пенобетона: 1 – контрольный образец, 2 – с введением диопсида, 3 – с введением волластонита; 4 – с введением стеклянной фибры; 5 – с введением базальтовой фибры.

Примечание: Δ – гиrolит, \blacksquare – портландит, \bullet – карбонат кальция, \circ – α -кварца SiO_2 , \diamond – кальция силикат, \square – белит, \blacktriangle – $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}$ фаза x

Экономическая оценка показала, что себестоимость 1 м^3 продукции разработанного состава составляет 1474,1 руб при использовании диопсида, 1776,4 руб при использовании волластонита, отпускная цена равна 2034,1 руб и 2451,47 руб соответственно. Средняя цена за 1 м^3 2900 руб на рынке для пенобетона с маркой по плотности D300-D400. Это позволяет в реализации рассчитывать на прибыль с одного куб.м пенобетона при введении диопсида – 865,9 руб, волластонита – 448,5 руб при одновременном снижении коэффициента теплопроводности.

Таким образом, проведенные научно-экспериментальные исследования теплоизоляционного пенобетона естественного твердения с добавками диопсида и волластонита показали их лучшее влияние на среднюю плотность и коэффициент теплопроводности по сравнению с волокнистыми добавками (стеклянной и базальтовой фиброй). Установлена большая степень гидратации цемента и завершенность процесса кристаллизации водных силикатов кальция при использовании предлагаемых минеральных добавок. Выявлена экономическая эффективность от введения добавок диопсида и волластонита. Разработанные составы позволяют применять полученный пенобетон естественного твердения как эффективный теплоизоляционный стеновой материал.

Список литературы / References

1. Аниканова Т.В. Пенобетоны для интенсивных технологий строительства / Т.В. Аниканова, Ш.М. Рахимбаев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 127с.
2. Богатина А.Ю. Конструкционные фибробетоны со стеклопластиковой стержневой арматурой в транспортном строительстве / А.Ю. Богатина, Л.В. Моргун, В.Н. Моргун // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4. – С. 92-98.
3. Zhang Z. Mechanical, thermal insulation, thermal resistance and acoustic absorption properties of geopolymer foam concrete / Z. Zhang, J.L. Provis, A. Reid, H. Wang // Cement and Concrete Composites. – 2015. – Vol. 62. – pp. 97-105.
4. Стешенко А.Б. Раннее структурообразование пенобетонной смеси с модифицирующей добавкой / А.Б. Стешенко, А.И. Кудяков // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 2 (54). – С. 56-62.
5. Wan K.S. 3D full field study of drying shrinkage of foam concrete / K.S. Wan, W. Shaohua, P. Chaoming // Cement and Concrete Composites. – 2017. – Vol. 82. – pp. 217-226.
6. Шахова Л.Д. Выбор песков для получения теплоизоляционных пенобетонов / Л.Д. Шахова, Ж.А. Палалане // Технологии бетонов. – 2014. – № 4 (93). – С. 12-13.
7. Моргун Л.В. Анализ закономерностей формирования оптимальных структур дисперсно-армированных бетонов / Л.В. Моргун // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №8. – С. 58-62.
8. Кудяков А.И. Пенобетон дисперсно-армированный теплоизоляционный естественного твердения / А.И. Кудяков, А.Б. Стешенко // Вестник ТГАСУ. – 2014. – №2. – С. 127-133.
9. Бартеньева Е.А. Использование золы-уноса в производстве пенобетона / Е.А. Бартеньева, Н.А. Машкин, Т.Е. Шоева // Естественные и технические науки. – 2015. – №11. – С. 608-611.
10. Бердов Г.И. Влияние минеральных микронаполнителей на свойства композиционных строительных материалов / Г.И. Бердов, Л.В. Ильина, В.Н. Зырянова. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 124 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Anikanova T.V. Penobetonny dlya intensivnyh tehnologiy stroitelstva [Foam concrete for intensive building technologies] / T.V. Anikanova, Sh.M. Rahimbaev. – Belgorod: Izdatelstvo BGUTU, 2015. – P. 127. [in Russian]
2. Bogatina A.Yu. Konstrukcionnye fibrobetony so stekloplastikovo stержnevoi armaturoi v transportnom stroitelstve [Structural fiber-reinforced concrete with fiberglass rod reinforcement in transport construction] / A.Yu. Bogatina, L.V.

Morgun, V.N. Morgun // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobsheniya. – 2016. – № 4. – С. 92-98. [in Russian]

3. Zhang Z. Mechanical, thermal insulation, thermal resistance and acoustic absorption properties of geopolymers foam concrete / Z. Zhang, J.L. Provis, A. Reid, H. Wang // Cement and Concrete Composites. – 2015. – Vol. 62. – P. 97-105. [in English]

4. Steshenko A.B. Rannee strukturoobrazovanie penobetonnoi smesi s modificiruyushei dobavkoi [Early structure formation of foam concrete mix with modifying additive] / A.B. Steshenko, A.I. Kudyakov // Inzhenerno-stroitelnyi zhurnal. – 2015. – № 2 (54). – P. 56-62. [in Russian]

5. Wan K.S. 3D full field study of drying shrinkage of foam concrete / K.S. Wan, W. Shaohua, P. Chaoming // Cement and Concrete Composites. – 2017. – Vol. 82. – pp. 217-226. [in English]

6. Shahova L.D. Vybor peskov dlya polucheniya teploizolyacionnyh penobetonov / L.D. Shahova, Zh.A. Palalane // Tehnologiya betonov. – 2014. – № 4 (93). – P. 12-13. [in Russian]

7. Morgun L.V. Analiz zakonomernostei formirovaniya optimalnyh struktur dispersno-armirovannyh betonov [Analysis of regularities in the formation of optimal structures of dispersed-reinforced concrete] / L.V. Morgun // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. – 2003. – №8. – P. 58-62. [in Russian]

8. Kudyakov A.I. Penobeton dispersno-armirovannyi teploizolyacionnyi estestvennogo tverdeniya [Heat insulating reinforced air hardened foamed concrete] / A.I. Kudyakov, A.B. Steshenko // Vestnik TGASU. – 2014. – №2. – P. 127-133. [in Russian]

9. Bartenjeva E.A. Ispolzovanie zoly-unosa v proizvodstve penobetona [Use of fly ash in the production of foam concrete] / E.A. Bartenjeva, N.A. Mashkin, T.E. Shoeva // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2015. – №11. – P. 608-611. [in Russian]

10. Berdov G.I. Vliyaniye mineralnyh mikronapolnitelei na svoystva kompozicionnyh stroitelnyh materialov [Influence of mineral microfillers on the properties of composite building materials] / G.I. Berdov, L.V. Il'ina, V.N. Zyryanova. – Novosibirsk: Izdatelstvo NGASU (Sibstrin), 2013. – P. 124. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.004>

Баязитова С.Р.

ORCID: 0000-0002-6412-0058, Студент,

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Октябрьском
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА НЕФТИ

Аннотация

В настоящее время запасы лёгкой нефти истощаются и человечество вынуждено переходить на трудноизвлекаемые резервы. Для перекачивания таких нефтей требуются огромные энергозатраты, поэтому для снижения энергетических затрат на перекачку нефти используют несколько способов улучшения их реологических характеристик. В данной статье проанализированы три основных способа улучшения реологических характеристик нефтей, а также представлены результаты проведения лабораторных испытаний воздействия электромагнитного излучения на свойства нефти.

Ключевые слова: реологические свойства, электромагнитное излучение, нефть, термообработка, ультразвуковое воздействие.

Bayazitova S.R.

ORCID: 0000-0002-6412-0058, Student,

FSBEI of Higher Education Ufa State Petroleum Technological University, Branch in Oktyabrsky
STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON THE RHEOLOGICAL
PROPERTIES OF OIL

Abstract

At present, light oil reserves are depleted and mankind is forced to shift to hard-to-recover reserves. Pumping of such oils requires huge energy costs; therefore several methods of improving their rheological characteristics are used in order to reduce energy costs for pumping oil. This article analyzes three main ways to improve the rheological characteristics of oils and contains the results of laboratory tests of the effects of electromagnetic radiation on the properties of oil.

Keywords: rheological properties, electromagnetic radiation, oil, heat treatment, ultrasonic action.

Человечество находится на заре эры тяжелой нефти. Россия этому чёткий пример: простых нефтей – никак не больше 30%, 70% – это трудноизвлекаемые резервы, при этом часть трудных углеводородов регулярно увеличивается.

Разведанные запасы в России составляют около 14 млрд. т, большая часть которых трудноизвлекаемые, проблемные. Проблемными являются как высоковязкие высокосмолистые нефти, так и высокопарафинистые, застывающие при положительных температурах.

На фоне снижения добычи нефти на крупнейших месторождениях Западной Сибири для сохранения текущего уровня добычи России потребуется вовлекать в разработку все больше месторождений тяжелых высоковязких нефтей. Для перекачки таких нефтей потребуется увеличение энергозатрат на перекачку нефти или монтаж дополнительного оборудования для снижения вязкости нефти, что в свою очередь также приведет к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат.

В данной статье рассмотрен один из наименее изученных и применяемых методов улучшения реологических свойств нефти – воздействие на нефть электромагнитными волнами радиодиапазона.

Для снижения энергетических затрат на перекачку нефтей используют несколько способов улучшения их реологических характеристик.

1. Термообработка. При термическом воздействии структурно– механические характеристики подвергнутой обработке нефти улучшаются. Имеющийся в нефти парафин при нагреве переходит в расплавленное состояние, а остывание формирует условия с целью отделения из нефти кристаллов парафина, для их роста и формирования структурной решетки в нефти. Термообработка даёт возможность получить нефть с непрочной структурной решеткой, не способной удержать в своих ячейках весь объем нефти. В данном случае огромную ролью является грамотно подобранные условия остывания нефти [1, С. 94].

2. Депрессорные присадки. Их продуктивность в значительной мере зависит от состава нефти и химического строения присадки. Подбор депрессорных присадок проводится индивидуально путем исследования вязкостно-температурных свойств нефти.

3. С целью усовершенствования вязкостно-температурных характеристик парафинистых высокосмолистых (ПВСН) и высокопарафинистых (ВПН) нефтей обширно изучается использование физических методов воздействия, в частности, полей с частотами ультразвукового спектра [2, С. 39-40]. Вязкость ПВСН, обработанной ультразвуком в течение 15 мин, снижается с 1044 до 48 мПа·с, а депрессия температуры застывания составляет 20°C. Иное поведение после УЗО наблюдалось для ВПН. Вязкость и температура застывания ВПН возрастали с увеличением времени обработки [3, С. 134-135].

Нагревание диэлектрических материалов микроволновым излучением обусловлено диэлектрическими потерями. Рост температуры происходит быстрее по сравнению с обычным нагревом, когда тепло поступает через поверхность, ограничивающую облучаемый объем [4, С. 3-6]. При обычном нагреве путем теплопроводности, конвекции или радиационного переноса тепловой энергии передача тепла от внешних участков к внутренним обусловлена температурным градиентом. Микроволновый нагрев более быстрый, эффективный и экологически чистый. Кроме того, важную роль играет «нетепловой эффект», заключающийся в селективном воздействии на определенные химические группы и связи [5, С. 20-25].

В процессе подготовки к проведению экспериментальной части исследований, был определен следующий состав экспериментальной установки (Рис. 1):

- Генератор высокочастотных колебаний с коаксиальным кабелем;
- Полый резонатор (камера для испытаний образцов нефти);
- Плоскодонная стеклянная колба объемом 500 мл с притертой крышкой [6, С.31-35].

В качестве генератора высокочастотных колебаний был приобретен и проверен генератор Г4-79.

Полый резонатор представляет собой куб со сторонами 400 мм, сваренный из листового металла 2 мм с отверстием 30 мм в верхней части камеры для коаксиального кабеля, и съемной металлической шторкой.



Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

Экспериментальная часть проводилась в период с 12.05.2017 по 25.06.2017 г. на частоте 2450 МГц, максимальной выходной мощностью не менее 3·10⁻³ Вт, время выдержки образцов нефти под электромагнитным излучением варьировалось от 5 до 110 минут.

Был определен следующий порядок проведения испытаний:

1. Операторами были отобраны 6 проб нефти согласно ГОСТ 2517.
2. Отобранные пробы были транспортированы на ПСП в ХАЛ, где тщательно были перемешаны в герметичном сосуде. С каждой пробы была разделена на две части, с каждой было отделено 250 мл для проведения испытания нефти на вязкость и содержание хлористых солей.
3. Из оставшихся 250 мл вылили 200 мл в цилиндр и ареометром, и термометром согласно ГОСТ 3900-85 определили температуру и плотность нефти с точностью до 1 знака после запятой.
4. Записали результаты анализа на плотность, температуру и вязкость в журнал.

5. Пробу нефти объемом 250 мл из цилиндра вылили в плоскодонную колбу и поместили в камеру для проведения испытаний.

6. Опустили свободный конец коаксиального кабеля через верхнее отверстие полого резонатора для проведения испытаний образцов нефти таким образом, чтобы конец кабеля располагался строго вертикально.

7. Установили колбу с образцом нефти в центре камеры для испытаний, чтобы крышка колбы находилась под концом коаксиального кабеля в 2-3 см.

8. Закрыли дверцу камеры испытаний.

9. Выставили максимальную мощность генератора сигналов.

10. Зафиксировали начало испытаний.

12. После окончания времени испытания выключили прибор.

13. Оставили пробу в колбе, не открывая крышку, на 1 час.

14. После часового отстоя перемешали пробу испытываемого образца в течение не менее 1 минуты.

15. Перелили пробу в цилиндр объемом 250 мл. Замерили плотность и температуру нефти.

16. Необходимое количество пробы (около 100 мл) отделили для определения вязкости.

17. Зафиксировали результаты измерений в журнал.

В ходе дальнейших работ была проведена обработка экспериментальных данных статистическими методами, в частности, проверены все полученные результаты на соответствие правилу трех σ . Также были построены экспериментальный и интерполирующий экспериментальные данные графики зависимости величины изменения вязкости от времени воздействия электромагнитным излучением (Рис. 2) на нефть [7, С.20-21].

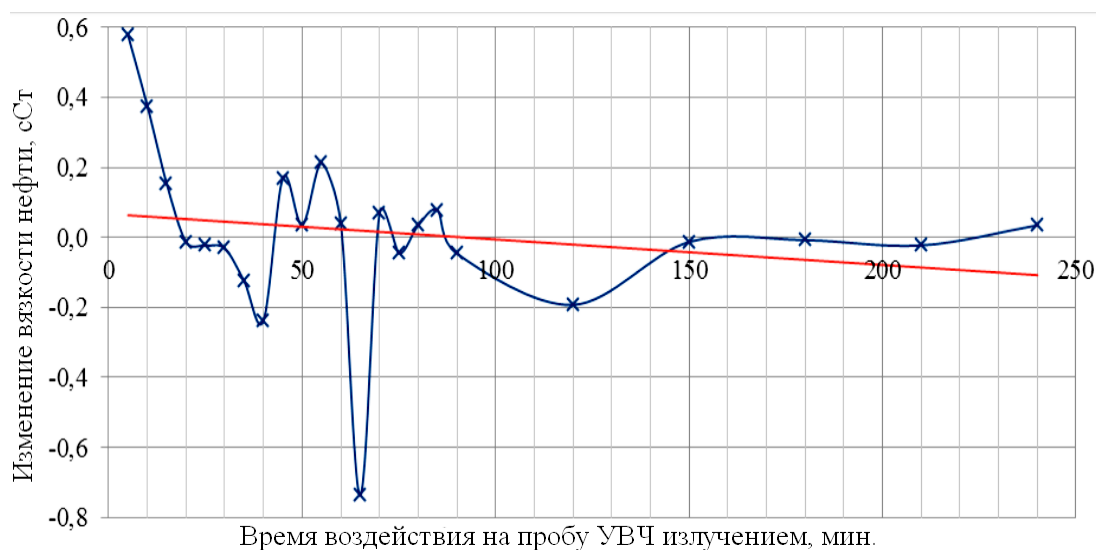


Рис. 2 – Графики зависимости величины изменения вязкости от времени воздействия электромагнитным излучением

Путем линейной интерполяции получено уравнение (1) зависимости величины изменения вязкости от времени воздействия электромагнитным излучением для нефти:

$$\Delta \nu = 0,06715 - 0,00073 \cdot T, \quad (1)$$

где $\Delta \nu$ – изменение вязкости нефти, сСт,

T – время воздействия на пробу УВЧ излучением частоты 2450 МГц, мощностью $3 \cdot 10^{-3}$ Вт, мин. [8, С. 19-26].

Проведенные исследования показали, что обработка микроволновым излучением образцов нефти приводит к снижению вязкости нефти [9, С. 31-34]. Также было получено математическое описание зависимости величины изменения вязкости от времени воздействия электромагнитным излучением для нефти сорта «ВСТО» на частоте 2450 МГц, мощностью $3 \cdot 10^{-3}$ Вт.

Вместе с тем, необходимо отметить, что использованное оборудование позволило получить достаточный эффект по снижению вязкости. Мощными в диапазоне УВЧ считаются источники мощностью в единицы и десятки ватт, кроме того, подобные по мощности приборы имеют высокую стоимость (более десяти миллиона рублей) [10, С. 568-578].

Список литературы / References

1. Карамышев В. Г. Улучшение реологических свойств высокопарафинистых нефтей / В. Г. Карамышев, Ф. А. Мамонов, С. А. Рзиев и др. // Институт проблем транспорта энергоресурсов: труды. – 2004. – №3 (63). – С.94.
2. Ануфриев Р. В. Реология нефтей, обработанных ультразвуком / Р. В. Ануфриев, Г. И. Волкова, Н. В. Юдина // Сборник материалов 27 Симпозиума по реологии. – 2014. – С.39-40.
3. Лоскутова Ю. В. Влияние ультразвуковой и магнитной обработки на реологические свойства тяжелой нефти / Ю. В. Лоскутова, Г. И. Волкова, Р. В. Ануфриев // Сборник материалов 27 Симпозиума по реологии – 2014. – С.134-135.
4. Волкова Г. И. Ультразвуковая обработка нефтей для улучшения вязкостнотемпературных характеристик / Г. И. Волкова, И. В. Прозорова, Р. В. Ануфриев и др. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – №2. – С.3-6.

5. Цзян Хуа И. Изменение состава и свойств тяжелых высоковязких нефтей под воздействием микроволнового облучения / Цзян Хуа И, Цао Бо // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – №4. – С.20-25.
6. Барышников А. А. Методы электрического воздействия на пласт с целью повышения нефтеотдачи / А. А. Барышников, А. В. Стрекалов, А. М. Ведменский и др. // Нефтепромысловое дело. – 2013 – №7. – С.31-35.
7. Ширяева Р. Н. Регулирование реологических свойств парафинистой нефти высокочастотным электромагнитным полем / Р. Н. Ширяева, Ф. Л. Саяхов, Ф. Х. Кудашева и др. // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – №6. – С.20-21.
8. Саяхов Ф. Л. Физико-технические основы электромагнитной технологии извлечение нетрадиционных углеводородов / Ф. Л. Саяхов, Н. Я. Багаутдинов, Ю. Б. Салихов // Вестник БГУ. – 2000 – № 1. – С.19-26.
9. Муллакаев М. С. Исследование влияния ультразвукового воздействия и химических реагентов на реологические свойства вязких нефтей / М. С. Муллакаев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2010. – № 5. – С.31–34.
10. Табаровский Л. А. Оценка разрешающей способности электромагнитных методов / Л. А. Табаровский, М. И. Эпов // Геология и геофизика. – 2006. – №5. – С.568-578.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Karamyshev V. G. Uluchsheniye reologicheskikh svoystv vysokoparafinistykh neftey [Improving the rheological properties of highly paraffinic oils] / V. G. Karamyshev, F. A. Mamonov, S. A. Rziyev and others // Institut problem transporta energoresursov: trudy [Institute for Energy Resources Transport: Works]. – 2004. – №3 (63). – P.94. [in Russian]
2. Anufriyev R. V. Reologiya neftey, obrabotannykh ul'trazvukom [The rheology of oils processed by ultrasound] / R. V. Anufriyev, G. I. Volkova, N. V. Yudina // Sbornik materialov 27 Simpoziuma po reologii [Collection of materials of the 27th Symposium on rheology]. – 2014. – P.39-40. [in Russian]
3. Loskutova YU. V. Vliyaniye ul'trazvukovoy i magnitnoy obrabotki na reologicheskiye svoystva tyazhelykh neftey [Influence of ultrasonic and magnetic treatment on the rheological properties of heavy oil] / YU. V. Loskutova, G. I. Volkova, R. V. Anufriyev // Sbornik materialov 27 Simpoziuma po reologii [Proceedings of the Symposium on Rheology]. – 2014. – P.134-135. [in Russian]
4. Volkova G. I. Ul'trazvukovaya obrabotka neftey dlya uluchsheniya vyazkostnotemperaturnykh kharakteristik [Ultrasonic treatment of oils to improve viscosity-temperature characteristics] / G. I. Volkova, I. V. Prozorova, R. V. Anufriyev and others // Neftepererabotka i neftekhimiya [Oil refining and petrochemistry]. – 2012. – №2. – P.3-6. [in Russian]
5. TSzyan Khua I. Izmeneniye sostava i svoystv tyazhelykh vysokovyazkikh neftey pod vozdeystviyem mikrovolnovogo oblucheniya [Change in the composition and properties of heavy high-viscosity oils under the influence of microwave irradiation] / TSzyan Khua I, Tsao Bo // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov [Science and Technology of Pipeline Transportation of Oil and Oil Products]. – 2013. – №4. – P.20-25. [in Russian]
6. Baryshnikov A. A. Metody elektricheskogo vozdeystviya na plast s Tsel' povysheniya nefteotdachi [Methods of electrical impact on the reservoir with to increase oil recovery] / A. A. Baryshnikov, A. V. Strekalov, A. M. Vedmenskiy and others // Neftepromyslovoye delo [Oilfield business]. – 2013 - №7. – P.31-35. [in Russian]
7. Shiryayeva R. N. Regulirovaniye reologicheskikh svoystv parafinistoy nefti vysokochastotnym elektromagnitnym polem [Regulation of the rheological properties of paraffinic oil by a high-frequency electromagnetic field] / R. N. Shiryayeva, F. L. Sayakhov, F. KH. Kudasheva and others // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel [Chemistry and Technology of Fuels and Oils]. – 2001. – №6. – P.20-21. [in Russian]
8. Sayakhov F. L. Fiziko-tekhnicheskiye osnovy elektromagnitnoy tekhnologii izvlecheniye netraditsionnykh uglevodorodov [Physical and technical basis of electromagnetic Technologies extraction of non-traditional hydrocarbons] / F. L. Sayakhov, N. YA. Bagautdinov, YU. B. Salikhov // Vestnik BGU [Bulletin of the Belarusian State University]. – 2000 – № 1. – P.19-26. [in Russian]
9. Mullakayev M. S. Issledovaniye vliyaniya ul'trazvukovogo vozdeystviya i khimicheskikh reagentov na reologicheskiye svoystva vyazkikh neftey [Investigation of the influence of ultrasonic action and chemical reagents on the rheological properties of viscous oils] / M. S. Mullakayev // Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa [Equipment and technologies for the oil and gas complex]. – 2010. – № 5. – P.31–34. [in Russian]
10. Tabarovskiy L. A. Otsenka razreshayushchey sposobnosti elektromagnitnykh metodov [Evaluation of resolution electromagnetic methods] / L. A. Tabarovskiy, M. I. Eпов // Geologiya i geofizika [Geology and geophysics]. – 2006. – №5. – P.568-578. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.073>Бердичевская Т.А.¹, Переверзева С.А.², Васькова Н.А.³, Овинников А.Е.⁴, Коносовский П.К.⁵, Кобзев А.Г.⁶¹Аспирант, Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ),²ORCID: 0000-0003-1621-0558, кандидат геолого-минералогических наук, Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ),³Инженер I категории, АО «СПб НИИИ «Энергоизыскания»⁴Аспирант, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ),⁵ORCID: 0000-0002-6758-3154, кандидат геолого-минералогических наук, Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ),⁶Ведущий инженер, АО «СПб НИИИ «Энергоизыскания»**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ****Аннотация**

На примере разрабатываемой экспертной системы экологической безопасности гидросферы показана возможность использования методов искусственного интеллекта при решении задач в области экологической безопасности. Проектом предусматривается получение гибридной системы посредством применения технологий экспертных систем и искусственных нейронных сетей. В статье обоснована актуальность проекта, перечислены итоги первого этапа создания продукта (этапа идентификации), продемонстрирован опыт разработчиков в смежных областях, кратко описана база данных экспертной системы экологической безопасности гидросферы, создаваемая на основе предыдущих разработанных и протестированных баз данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, экспертная система, нейронная сеть, гибридная интеллектуальная система, экологическая безопасность, гидросфера, АЭС.

Berdichevskaya T.A.¹, Pereverzeva S.A.², Vaskova N.A.³, Ovinnikov A.E.⁴, Konosavskiy P.K.⁵, Kobzev A.G.⁶¹Postgraduate Student, St. Petersburg State University,²ORCID: 0000-0003-1621-0558, PhD in Geology and Mineralogy, St. Petersburg State University,³Engineer of I category, JSC "SPb Research Institute "Energoizyskaniya"⁴Postgraduate Student, All-Russian Geological Research Institute named after A.P. Karpinsky,⁵ORCID: 0000-0002-6758-3154, PhD in Geology and Mineralogy, St. Petersburg State University,⁶Leading Engineer, JSC "SPb Research Institute "Energoizyskaniya"**POSSIBILITY OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE SOLUTION OF PROBLEMS RELATED TO ENVIRONMENTAL SECURITY****Abstract**

The possibility of using artificial intelligence methods in the solution of problems related to environmental safety is shown on the example of the developed expert system of ecological safety of the hydrosphere. The project provides for the production of a hybrid system through the use of technologies of expert systems and artificial neural networks. The article substantiates the relevance of the project, lists the results of the first stage of product creation (identification stage), demonstrates the experience of the developers in related fields, and briefly describes the database of the expert system of environmental safety of the hydrosphere, created on the basis of previously developed and tested databases.

Keywords: artificial intelligence, expert system, neural network, hybrid intellectual system, environmental safety, hydrosphere, nuclear power plant.

Введение: понятие искусственного интеллекта

Искусственный интеллект (artificial intelligence) – 1. Научное направление, в рамках которого ставятся и решаются задачи аппаратного или программного моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными. 2. Свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека [1].

Современный искусственный интеллект (ИИ) характеризуется использованием в широком спектре областей: робототехника [2], [3], распознавание речи [4], игры [5], [6], финансы и акции, медицина, образование, промышленность, безопасность и другие сферы [7].

Область ИИ можно условно представить в виде схемы (рис. 1):

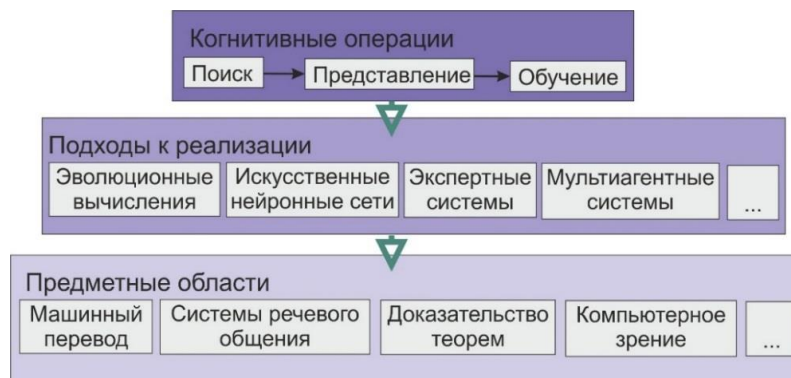


Рис. 1 – Общая структура области ИИ [8, С.10]

Описание проекта

Обоснование актуальности

В настоящее время Лабораторией Геоинформационных Технологий и Математического Моделирования АО «СПб НИИИ «ЭИЗ» совместно с Институтом наук о Земле СПбГУ ведутся научно-исследовательские работы, направленные на использование методов (подходов) ИИ (рис. 1) в сфере задач экологической безопасности: работы по созданию экспертной системы экологической безопасности гидросферы. Продукт разрабатывается как инструмент комплексной оценки состояния окружающей среды, оценки состояния гидросферы (подземных и поверхностных вод) в частности. Необходимость проведения такой оценки при выполнении инженерных изысканий для строительства различных энергетических, включая атомные электростанции (АЭС), и промышленных объектов (работ по основному направлению деятельности АО «СПб НИИИ «ЭИЗ») обусловлена отнесением объектов использования атомной энергии к особо опасным и технически сложным [9, ст. 48.1], к объектам повышенного риска (ОПР) [10, ст. 2 п. 2.1.3], которые при неблагоприятном развитии событий создают серьезную угрозу причинения масштабного вреда. Постоянный контроль за окружающей средой крайне необходим при работе АЭС как в штатном режиме так и при аварийных ситуациях.

Сложные проблемы, связанные с экологической безопасностью гидросферы (подземных и поверхностных вод), например, задачи расчета миграции радионуклидов при различных аварийных ситуациях на АЭС, прогнозирования подтопления территории, расчета и оценки водопритоков к строительным выработкам, в настоящее время, как правило, решаются с применением специального программного обеспечения, которое позволяет решать только частные задачи [11]. При этом необходим значительный объем различной исходной информации, результаты решения могут быть по-разному интерпретированы, требуются существенные временные и денежные затраты. Не всегда сложная задача может быть разложена на мелкие частные составляющие. В этом случае неполнота картины не позволит оперативно принять управленческое решение.

Понятие экспертной системы, структура, технология разработки

Экспертная система (ЭС) – система искусственного интеллекта (программный комплекс), включающая знания об определенной предметной области и способная предлагать и объяснять пользователю разумные решения, способная частично заменить специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации, при решении неформализованных задач в данной области [12], [13].

Экспертная система имеет следующую структуру (рис. 2) [14]:

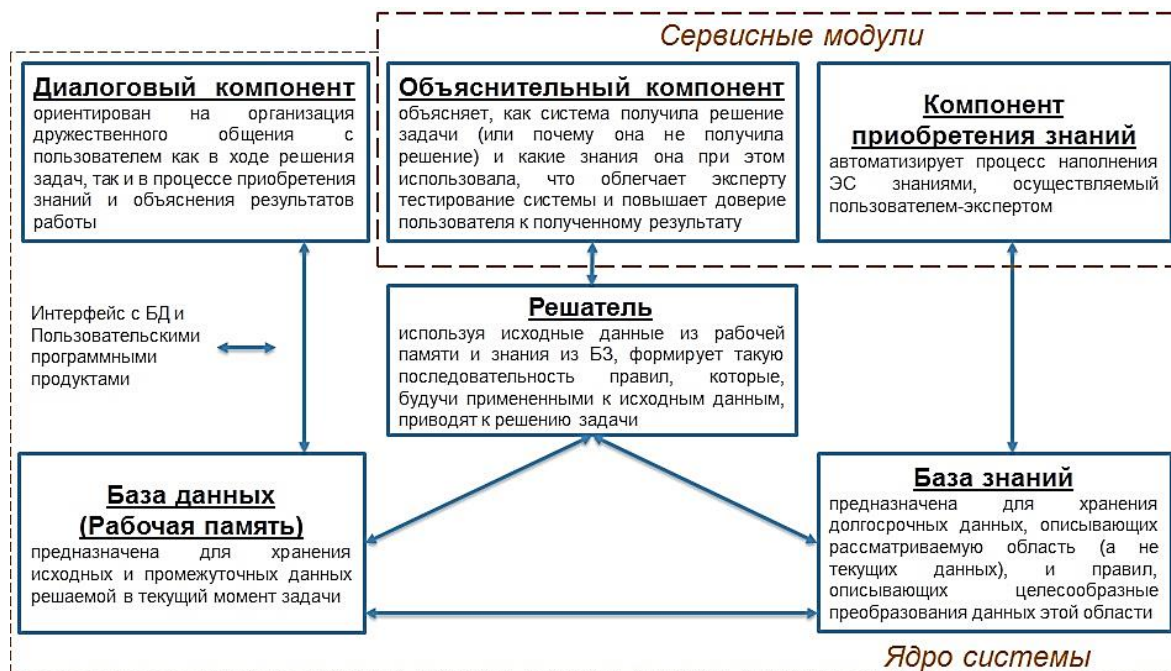


Рис. 2 – Структура ЭС [14]

Технология разработки ЭС включает шесть этапов (рис. 3) [14].



Рис. 3 – Технология разработки ЭС [14]

Итоги этапа идентификации

Работа по созданию экспертной системы экологической безопасности гидросферы в настоящее время находится на начальной стадии: практически завершен этап идентификации (рис. 3).

По результатам данного этапа:

- Определены задачи, которые подлежат решению с помощью разрабатываемой системы: сложные практически значимые задачи определения влияния АЭС и хранилищ радиоактивных отходов (ХРО) на окружающую среду, связанные с прогнозными оценками миграции радионуклидов, подтопления территорий при строительстве и эксплуатации АЭС, оценкой и анализом разработанных геофильтрационных и миграционных моделей, расчетом и оценкой водопритоков и т.д.

- Выявлена цель разработки: получение инструмента комплексной оценки состояния окружающей среды, прогнозирующей системы, предсказывающей возможные результаты или события на основе данных о текущем и прошлом состоянии объекта. Повышение эффективности принимаемых инженерных решений.

- Определены типы пользователей: экспертная система инициируется к разработке в рамках деятельности организаций «Росатома» (целевая категория пользователей). База знаний, как ключевой элемент ЭС, равно, как и прочие программные компоненты, за исключением базы данных (рис. 2) доступна к правке только разработчикам. Для разграничения полномочий в отношении доступа к функции ввода и редактирования данных в базе данных (рис. 2) предусматривается разделение всех пользователей, имеющих доступ к системе, на группы:

- 1) Группа пользователей: предоставляется доступ к информации «только для чтения», возможность первичной обработки данных;

- 2) Группа исследователей: то же что и группа пользователей, но имеется возможность добавлять новые данные, а так же редактировать и удалять, но только свои данные в базе;

- 3) Группа ответственных пользователей: предоставлен полный доступ на ввод новой информации в базу данных, редактирование или удаление имеющейся информации, пользователи обладают полномочиями на подпись неподтвержденных значений.

- Ведется формирование группы экспертов в области экологической безопасности гидросферы, способных выразить на естественном языке и объяснить используемые методы, куда уже вошли специалисты АО «СПб НИИИ «ЭИЗ», СПбГУ.

Опыт разработчиков в смежных областях

Экспертная система экологической безопасности гидросферы является продолжением следующих работ Лаборатории Геоинформационных Технологий и Математического Моделирования АО «СПб НИИИ «ЭИЗ»:

- «Разработка 3D модели геологического пространства площадки размещения АЭС с целью управления, контроля геологической среды, а также оптимизации проектных решений на всех этапах жизни АЭС» (рис. 4)

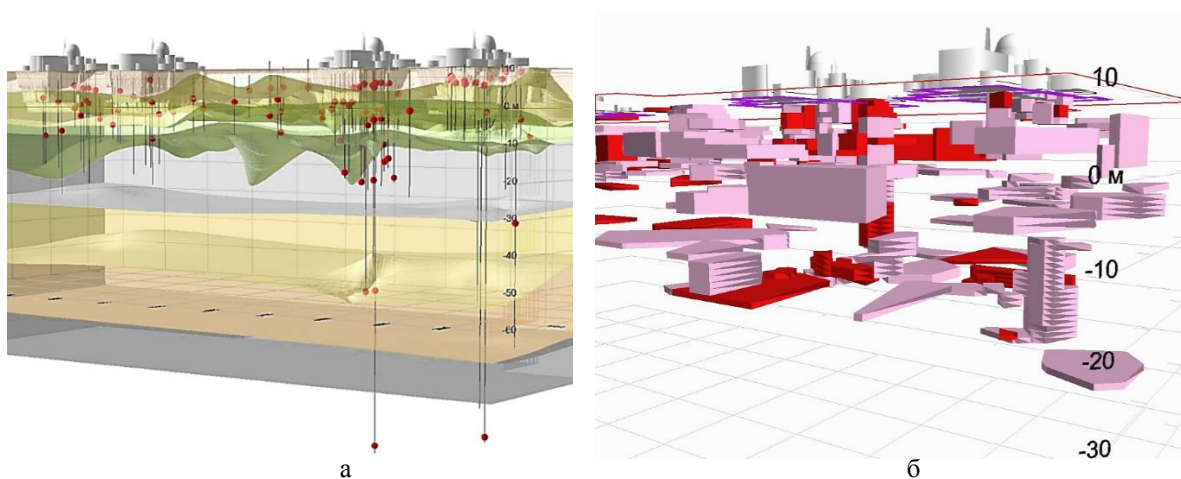


Рис. 4 – 3D модель геологического пространства площадки размещения АЭС.

Примечание: а – геологическая проекция, б – проекция распространения свойств.

– Серия работ по созданию и ведению баз данных (рис. 5) (совместные с Институтом наук о Земле СПбГУ разработки):

- «База данных инженерно-геологических изысканий», свидетельство № 2013621453 о государственной регистрации базы данных.
- «Разработка специализированной электронной базы данных по Балтийской АЭС»
- «Разработка специализированной электронной базы данных по Белоярской АЭС»
- «Сопровождение специализированной базы данных площадки ЛАЭС-2. Интеграция созданной базы данных с фильтрационной локальной моделью площадки ЛАЭС-2».

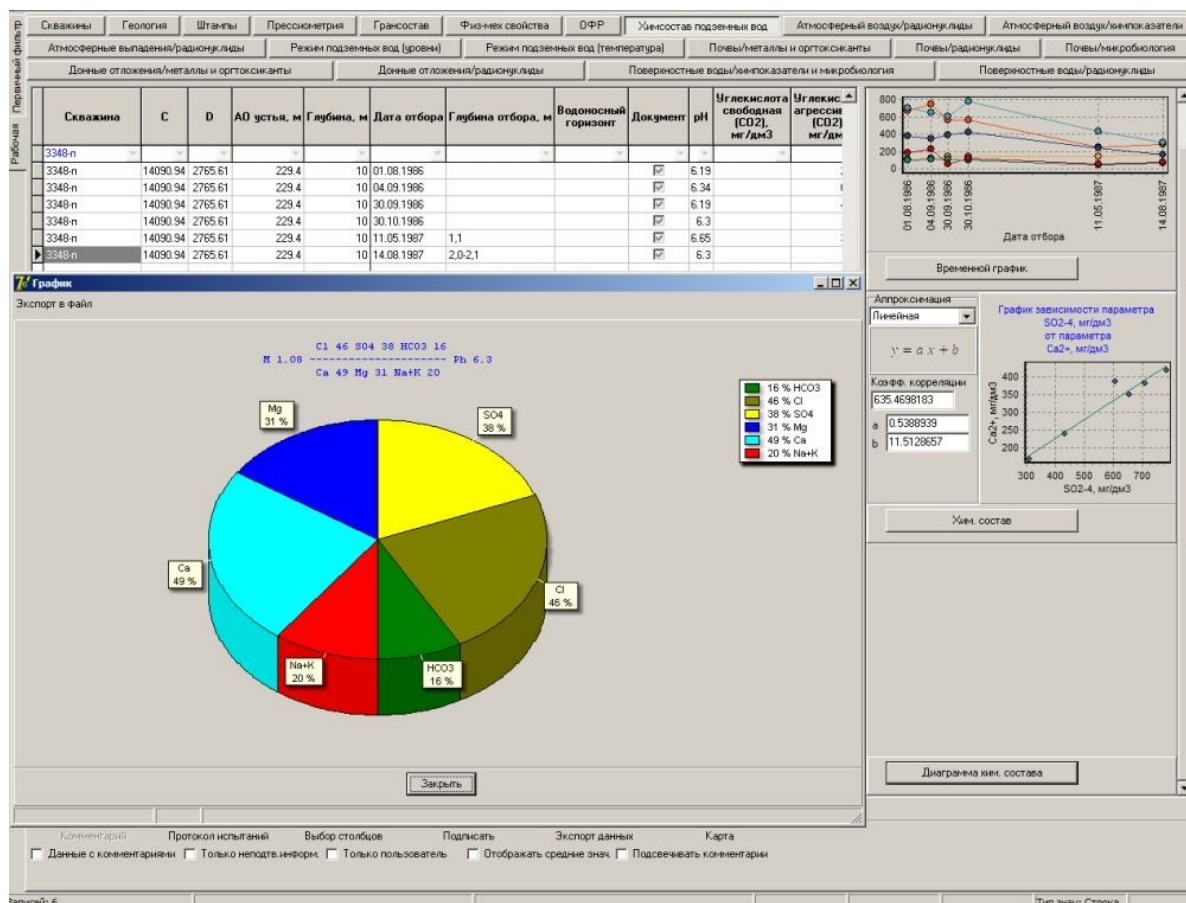


Рис. 5 – База данных.

Примечание: разработчики: ЛГТ и ММ АО «СПб НИИИ «ЭИЗ», Институт наук о Земле СПбГУ.

Первые результаты по части создания продукта

Как было указано выше команда разработчиков имеет определенный опыт по созданию и ведению баз данных. Результаты этой работы были опубликованы в ряде журналов, представлялись на конференциях [15, С. 15-17], [16], [17, С. 66-68]. В структуре ЭС (рис. 2) одним из элементов является база данных. Соответствующие наработки ЛГТ и ММ АО «СПб НИИИ «ЭИЗ», Института наук о Земле СПбГУ в настоящее время дорабатываются в соответствие концепции разрабатываемой экспертной системы. Базы данных (см. выше) прошли этапы тестирования и апробации

специалистами-изыскателями (геологами, гидрогеологами, инженерами-геологами) на некоторых предприятиях «Росатома», используются в работе АО «СПб НИИИ «ЭИЗ».

В качестве иллюстраций ниже представлены: общая структура БД ЭС (рис. 6), строение блока (рис. 7), вкладки (рис. 8), организация связей таблиц (рис. 9).



Рис. 6 – Структура базы данных ЭС экологической безопасности гидросферы

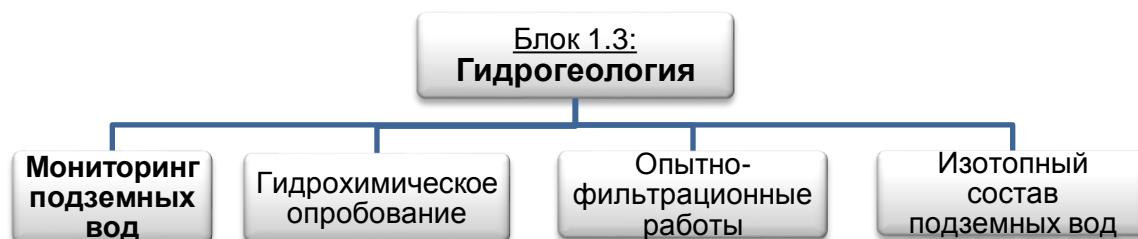


Рис. 7 – Структура блока 1.3 «Гидрогеология» базы данных ЭС экологической безопасности гидросферы

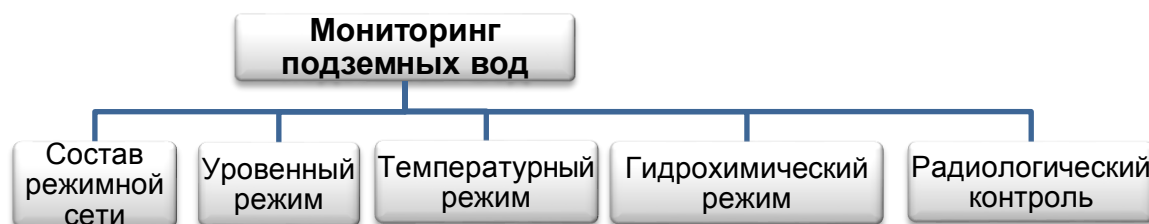


Рис. 8 – Структура вкладки «Мониторинг подземных вод» блока 1.3 «Гидрогеология» базы данных ЭС экологической безопасности гидросферы

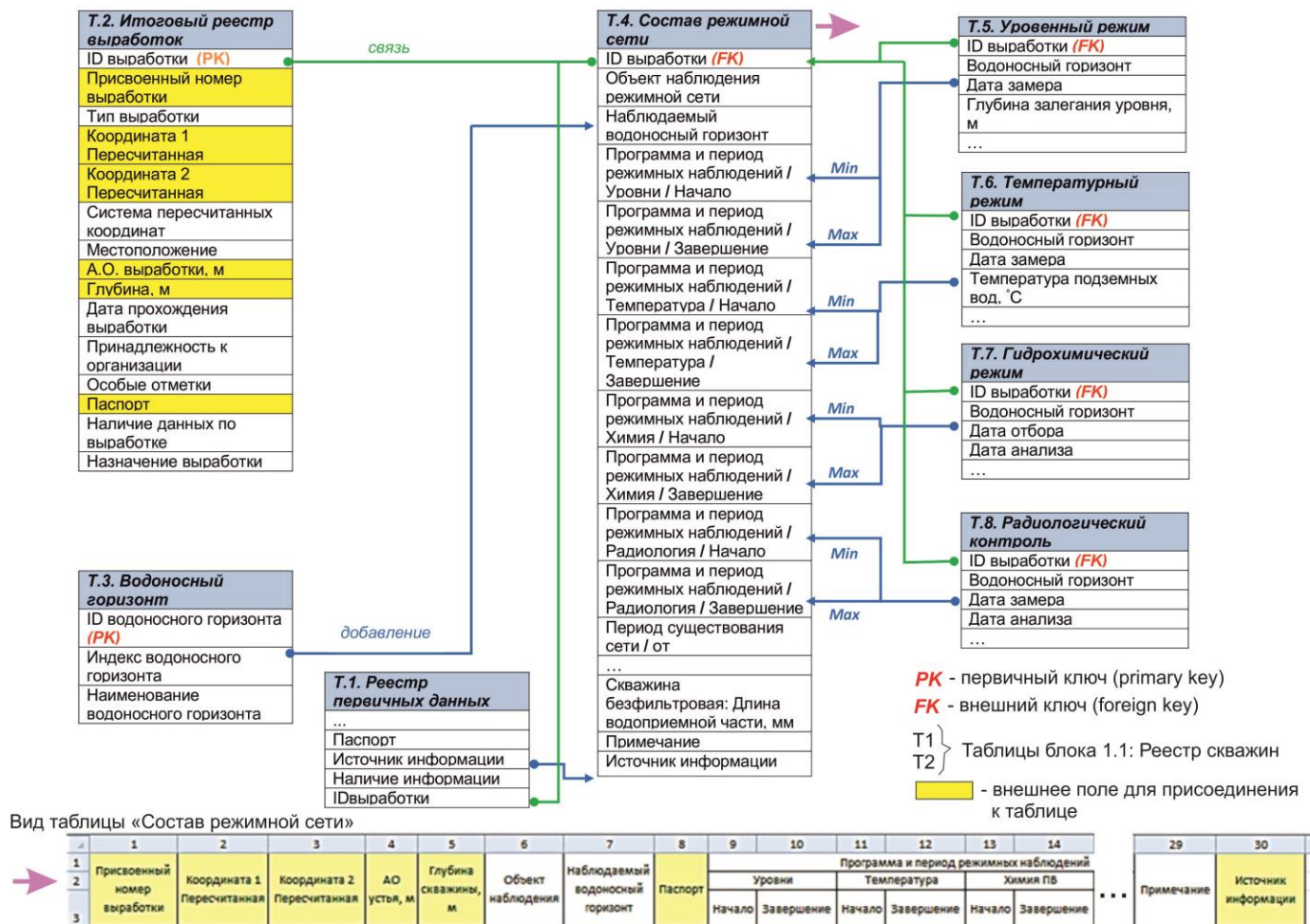


Рис. 9 – Организация связей таблиц вкладки «Мониторинг подземных вод» блока БД ЭС

Наряду с выполнением функций хранилища данных, БД выступает также и в качестве системы управления этими данными. Реализованы следующие возможности: автоматизированная классификация по свойствам, формирование выборок по запросу на основе определенных признаков, проведение начальной обработки данных: построение, например, кумулятивных кривых и гистограмм для гранулометрического состава пород, круговых диаграмм химического состава, графиков изменчивости свойств по глубине или по времени с подбором аппроксимирующих кривых и т.д. (рис. 5).

Закключение

На сегодняшний день создано уже большое количество экспертных систем [18, С. 13-14]. Они хорошо зарекомендовали себя в качестве инструмента для решения широкого круга задач в узкоспециализированных предметных областях, где большую роль играют знания «бывалых» специалистов, доказали свою значимость и ценность во многих важных приложениях. Экспертные системы не предназначены для решения универсальных задач. Они неспособны к самообучению. Для того, чтобы поддерживать экспертные системы в актуальном состоянии необходима постоянная поддержка со стороны разработчиков [19]. Для преодоления указанных недостатков рассматривается возможность применения нейронных сетей (ключевое свойство которых – способность к самообучению) в архитектуре разрабатываемого продукта через включение в него средств взаимодействия с нейронными сетями, то есть предусматривается развитие экспертной системы до гибридной, так называемой «двухполушарной» интеллектуальной системы [20].

Список литературы / References

1. Аверкин А.Н. Толковый словарь по искусственному интеллекту [Электронный ресурс] / А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов; Компьютерная версия: И.Н.Листопад, А.Б.Прокудин, Е.Н.Щербаков – URL: <http://raai.org/library/tolk/aivoc.html> (дата обращения: 19.07.2017)
2. Каляев И.А. Интеллектуальные роботы: учеб. пособие для вузов / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др.; под общ. ред. Е.И. Юревича – М.: Машиностроение, 2007. – 360 с.: ил. ISBN 5-217-03339-8
3. Гаврилов А.В. Интеллектуальные роботы. Лекция 5.4. Интеллектуальные системы в машиностроении [Электронный ресурс] / А.В. Гаврилов. – НГТУ, Кафедра АППИМ – 57 с. – URL: http://www.insycom.ru/html/metodmat/ism2012/Lec_5_4.pdf (дата обращения: 19.07.2017)
4. Паевский А. Искусственный интеллект научился «понимать» речь не хуже человека [Электронный ресурс] / Алексей Паевский // Нейроновости – 04.11.2016. – URL: <http://neuronovosti.ru/ii-indicator/> (дата обращения: 19.07.2017)
5. Гик Е. Компьютерные шахматы: сборник / Евгений Гик – М.: Агентство «ФАИР», 1997. – 272 с. ISBN 5-88641-046-5
6. Silver D. Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search / David Silver, Aja Huang, Chris J. Maddison etc. // Nature. – 28 January 2016. – Vol. 529. – P. 484–489. doi:10.1038/nature16961

7. Демченко Д. Карта применения технологий искусственного интеллекта: медицина, образование, транспорт и другие сферы [Электронный ресурс] / Дмитрий Демченко // vc.ru – 03.10.2016. – URL: <https://vc.ru/p/ai-map> (дата обращения: 19.07.2017)
8. Потапов А.С. Технологии искусственного интеллекта: учеб. пособие / А.С. Потапов – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 218 с.
9. Российская Федерация. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» (с изм. на 18 июня 2017 г.) (ред., действ. с 1 июля 2017 г.): федер. закон [принят Гос. Думой 22 декабря 2004 г.: одобр. Советом Федерации 24 декабря 2004 г.] [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 21.07.2017)
10. Министерство российской федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Методические рекомендации от 25 сентября 2006 года N 3/1-1504 по формированию аварийных комплектов документации на объекты повышенного риска и объекты систем жизнеобеспечения населения [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499029053> (дата обращения: 21.07.2017)
11. Каримов Р.Х. Программы и модели для решения задач, связанных с подземными водами [Электронный ресурс] / Р.Х. Каримов, А.С. Копылов, А.В. Расторгуев и др. // Международный журнал Программные продукты и системы – 2003. – № 3. ISSN 0236-235X (P). ISSN 2311-2735 (E). DOI: 10.15827/0236-235X. – URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=626&lang=.docs> (дата обращения: 21.07.2017)
12. Экспертная система [Электронный ресурс] / Википедия // ru.wikipedia.org – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экспертная_система (дата обращения: 21.07.2017)
13. Глоссарий.ru: служба тематических толковых словарей / Glossary Commander [Электронный ресурс] – URL: <http://www.glossary.ru/index.htm> (дата обращения: 21.07.2017)
14. Морозов М.Н. Курс лекций по дисциплине "Системы искусственного интеллекта". Лекции 7-8: Экспертные системы. [Электронный ресурс] / М.Н. Морозов // каф. ИИС, НТУ ХПИ, 2000 – URL: <http://khipi-iiip.mipk.kharkiv.edu/library/ai/conspai/index.html> (дата обращения: 21.07.2017)
15. Переверзева С.А. Специализированная база данных – как инструмент анализа и управления данными инженерно-геологических изысканий (на примере ЛАЭС) / С.А. Переверзева, М.Н. Кочнева // Атомное строительство. – ноябрь 2011. – № 5. – С. 15-17.
16. Переверзева С.А. Современные методы хранения, анализа, поиска и использования геологической информации/ С.А. Переверзева, М.Н. Кочнева, П.К. Коносовский и др. // Xth International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects: тезисы – 10-13 May 2011, Kiev, Ukraine – A064.
17. Печенкина Т.А. СУБД в гидрогеологии – методы построения, развитие и совершенствование (на примере БАЭС) / Т.А. Печенкина // Математическое моделирование, геоинформационные системы и базы данных в гидрогеологии. Материалы всероссийской научно-практической конференции (25–27 сентября 2013 г.) / Отв. ред. В. Г. Румынин. – М.: АНО УКЦ «Изыскатель», 2013. – С. 66-68.
18. Гаврилов А.В. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие. В 2-х ч. Ч. 1. / А.В. Гаврилов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 67 с.
19. Экспертные системы [Электронный ресурс] / www.AIportal.ru Портал искусственного интеллекта. – URL: <http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/expert-systems.html> (дата обращения: 25.07.2017)
20. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Монография / А.В. Гаврилов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 142 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Averkin A.N. Tolkovyj slovar' po iskusstvennomu intellektu [Dictionary of Artificial intelligence] [Electronic resource] / A.N. Averkin, M.G. Gaaze-Rapoport, D.A. Pospelov; Computer version: I.N. Listopad, A.B. Prokudin, E.N. Shherbakov – URL: <http://raai.org/library/tolk/aivoc.html> (accessed: 19.07.2017) [in Russian]
2. Kaljaev I.A. Intellekturnye roboty: uchebnoe posobie dlja vuzov [Intelligent robots: manual for universities] / I.A. Kaljaev, V.M. Lohin, I.M. Makarov and others; edited by E.I. Jurevicha – M.: Mashinostroenie, 2007. – 360 p.: il. ISBN 5-217-03339-8 [in Russian]
3. Gavrilov A.V. Intellekturnye roboty. Lekcija 5.4. Intellekturnye sistemy v mashinostroenii [Intelligent robots. Lecture 5.4. Intelligent systems in mechanical engineering] [Electronic resource] / A.V. Gavrilov. – NSTU, Department of APPE – 57 p. – URL: http://www.insycom.ru/html/metodmat/ism2012/Lec_5_4.pdf (accessed: 19.07.2017) [in Russian]
4. Paevskij A. Iskusstvennyj intellekt nauchilsja «ponimat» rech' ne huzhe cheloveka [Artificial intelligence has learned to "understand" speech no worse than a person does] [Electronic resource] / Aleksej Paevskij // Neironovosti [neuronews] – 04.11.2016. – URL: <http://neuronovosti.ru/ii-indicator/> (accessed: 19.07.2017) [in Russian]
5. Gik E. Komp'juternye shahmaty: sbornik [Computer chess: collection] / Evgenij Gik – M.: Agentstvo «FAIR», 1997. – 272 p. USBN 5-88641-046-5 [in Russian]
6. Silver D. Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search / David Silver, Aja Huang, Chris J. Maddison etc. // Nature. – 28 January 2016. – Vol. 529. – P. 484–489. doi:10.1038/nature16961
7. Demchenko D. Karta primeneniya tehnologii iskusstvennogo intellekta: medicina, obrazovanie, transport i drugie sfery [Map of applying artificial intelligence technologies: medicine, education, transport and other spheres] [Electronic resource] / Dmitriy Demchenko // vc.ru – 03.10.2016. – URL: <https://vc.ru/p/ai-map> (accessed: 19.07.2017) [in Russian]
8. Potapov A.S. Tehnologii iskusstvennogo intellekta: ucheb. posobie [Artificial intelligence technologies: manual] / A.S. Potapov – СПб: SPbSU ITMO, 2010. – 218 p. [in Russian]
9. Rossijskaja Federacija. «Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii» (s izm. na 18 ijunja 2017 g.) (red., dejstv. s 1 ijulja 2017 g.) [Russian Federation. "Town-planning code of the Russian Federation" (as amended of June 18, 2017) (Edition of July 1, 2017): federal law: [accepted by State Duma on December 22, 2004: approved by the Federation Council on

December 24, 2004] [Electronic resource] / Jelektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii [Electronic fund of legal and normative technical documentation] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (accessed: 21.07.2017) [in Russian]

10. Ministerstvo rossijskoj federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij. Metodicheskie rekomendacii ot 25 sentjabrja 2006 goda N 3/1-1504 Po formirovaniju avarijnyh komplektov dokumentacii na ob'ekty povyshennogo riska i ob'ekty sistem zhizneobespechenija naselenija [Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Methodical recommendations of September 25, 2006 N 3/1-1504 on the formation of emergency documentation sets for high-risk objects and objects of life support systems of the population] [Electronic resource] / Jelektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii [Electronic fund of legal and normative technical documentation] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499029053> (accessed: 21.07.2017) [in Russian]

11. Karimov R.H. Programmy i modeli dlja reshenija zadach, svjazannyh s podzemnymi vodami [Programs and models for solving problems related to groundwater] [Electronic resource] / R.H. Karimov, A.S. Kopylov, A.V. Rastorguev and others // Mezhdunarodnyj zhurnal Programmnye produkty i sistemy [International journal Software products and systems] – 2003. – № 3. ISSN 0236-235X (P). ISSN 2311-2735 (E). DOI: 10.15827/0236-235X. – URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=626&lang=.docs> (accessed: 21.07.2017) [in Russian]

12. Jekspertnaja sistema [Expert system] [Electronic resource] / Vikipedija // ru.wikipedia.org – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Jekspertnaja_sistema (accessed: 21.07.2017) [in Russian]

13. Glossarij.ru: sluzhba tematicheskikh tolkovykh slovarej [Glossary.ru: Service of thematic explanatory dictionaries] / Glossary Commander [Electronic resource] – URL: <http://www.glossary.ru/index.htm> (accessed: 21.07.2017) [in Russian]

14. Morozov M.N. Kurs lekcij po discipline "Sistemy iskusstvennogo intellekta". Lekcii 7-8: Jekspertnye sistemy. [The course of lectures on the discipline "Systems of artificial intelligence". Lectures 7-8: Expert Systems] [Electronic resource] / M.N. Morozov // Department of IIP, NTU KPI, 2000 – URL: <http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/ai/conspai/index.html> (accessed: 21.07.2017) [in Russian]

15. Pereverzeva S.A. Specializirovannaja baza dannyh – kak instrument analiza i upravlenija dannymi inzhenerno-geologicheskikh izyskanij (na primere LAES) [Specialized database - as a tool for analysis and management of engineering and geological survey data (on the example of the LNPP)] / S.A. Pereverzeva, M.N. Kochneva // Atomnoe stroitel'stvo [Atomic engineering]. – November 2011. – № 5. – p. 15-17. [in Russian]

16. Pereverzeva S.A. Sovremennye metody hranenija, analiza, poiska i ispol'zovanija geologicheskoy informacii [Modern methods of storage, analyze, retrieval and using of geological information] / S. Pereverzeva, M. Kochneva, P. Konosavsky and others // Xth International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects: theses – 10-13 May 2011, Kiev, Ukraine – A064. [in Russian]

17. Pechenkina T.A. SUBD v gidrogeologii – metody postroenija, razvitie i sovershenstvovanie (na primere BAJeS) [DMS in hydrogeology - construction methods, development and improvement (using the example of the BNPP)] // Matematicheskoe modelirovanie, geoinformacionnye sistemy i bazy dannyh v gidrogeologii. Materialy vsrossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (25–27 sentjabrja 2013 g.) [Mathematical modeling, geoinformation systems and databases in hydrogeology. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (September 25-27, 2013)] / edited by V. G. Rumynin. – M.: ANO UKC «Izyskatel'», 2013. – P. 66-68. [in Russian]

18. Gavrilov A.V. Sistemy iskusstvennogo intellekta: ucheb. posobie. V 2-h ch. Ch. 1. [Artificial intelligence systems: manual. In 2 ch. Ch. 1] / A.V. Gavrilov – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2001. – 67 p. [in Russian]

19. Jekspertnye sistemy [Expert systems] [Electronic resource] / www.AIportal.ru Portal iskusstvennogo intellekta [Portal of artificial intelligence]. – URL: <http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/expert-systems.html> (accessed: 25.07.2017)

20. Gavrilov A.V. Gibriddnye intellektual'nye sistemy: Monografija [Hybrid intelligent systems: monograph] / A.V. Gavrilov – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2002. – 142 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.057>Грабовецкая К.А.¹, Троценко В.М.², Темников Е.А.³, Лесков И.А.⁴^{1,2,3,4}Студент,

Омский Государственный Технический Университет

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛИ В СРАВНЕНИИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**Аннотация**

Как показывает практика, в настоящее время перенапряжение в сети на предприятиях с регулярной пиковой нагрузкой, довольно частое явление. А также обрывы фаз на землю или замыкания одной жилы кабеля из-за обледенения проводов. Как следствие, возникают однофазные замыкания на землю в линиях электропередач. Одно из решений данной проблемы, применения компенсированной нейтрали в данных сетях, т. е. установка дугогасительного реактора. В статье рассмотрено целесообразность применения компенсированной нейтрали в сравнении с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю в линиях электропередач.

Ключевые слова: компенсированная нейтраль, изолированная нейтраль, реактор, перенапряжение.

Grabovetskaya K.A.¹, Trotsenko V.M.², Temnikov E.A.³, Leskov I.A.⁴^{1,2,3,4}Student,

Omsk State Technical University

FEASIBILITY OF THE COMPENSATED NEUTRAL APPLICATION IN COMPARISON WITH ISOLATED NEUTRAL IN ELECTRIC TRANSMISSION LINES**Abstract**

Experience has proven that at present overvoltage in the network at enterprises with a regular peak load is quite frequent as well as phase breaks on the ground or the circuit of one cable core due to icing wires. As a consequence, single-phase ground circuits occur in power lines. One of the solutions to this problem is the use of compensated neutral in these networks, i.e. the installation of an arc-suppression reactor. The article considers the expediency of using a compensated neutral in comparison with an isolated neutral with a single-phase circuit to the ground in power lines.

Keywords: compensated neutral, isolated neutral, reactor, overvoltage.

Электрические сети 6-35кВ работают с изолированной нейтралью, они достаточно широко распространены. Как показывает практика, металлические или дуговые однофазные замыкания на землю – самые распространенные повреждения в этих сетях. Данные замыкания сопровождаются перенапряжениями, феррорезонансными процессами, переходом ОЗЗ в междупазные короткие замыкания, что приводит к повреждению трансформаторов напряжения и неселективным отключениям потребителей релейной защитой. С целью снижения уровня перенапряжений и иных негативных последствий, повышению качества и надежности защит от замыканий на землю, разработан и внедряется в практику эксплуатации метод заземления нейтрали с использованием токоограничивающего резистора, устанавливаемого в нейтрали специального трансформатора.

Цель работы: математический расчет целесообразности использования компенсированной нейтрали в сравнении с изолированной при однофазном замыкании на землю.

Задачи исследования

1. Определение параметров оборудования.
2. Расчет токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.
3. Модель для расчета перенапряжения.
4. Исследование перенапряжений при замыкании фазы.

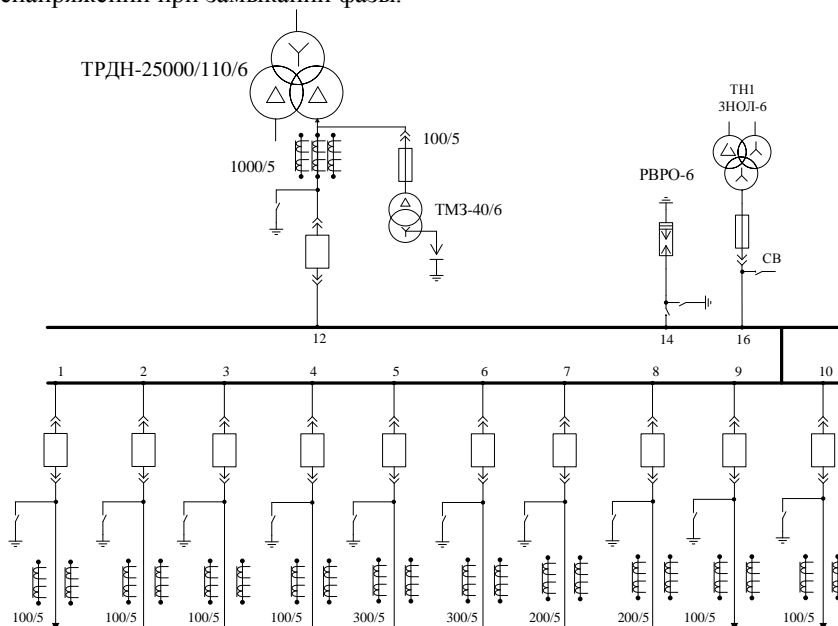


Рис. 1 – Однолинейная электрическая схема сети

Таблица 1 – Параметры линий электропередач

Марка	Длина, км
ААШв 3х120	17,7
АС-120	5,7
АВБбШв 3х120	7,2
АВБбШв3х120	13,8
АСБГ3х120	13,5
АС-95	17
ВБбШв3х70	8
СБГ 3х70	15,9
ААБлГ3х120	16,6
ААШв3х240	6,5

Таблица 2 – Параметры силового трансформатора

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток холостого хода, %
		ВН	НН	Х.Х.	К.З.		
ТРДН-25000/110/6	25 000	115	6,6	22	120	10,5	0,5

Таблица 3 – Рассчитанные параметры силового трансформатора

I_{H2}, A	R_{T2}, Ω	Z_{T2}, Ω	X_{T2}, Ω	$L_{T2}, Гн$
2187	$8,364 \cdot 10^{-3}$	0,317	0,317	0,00101

Определение параметров отходящих линий

Задана трехфазная линия с длинными проводами, расположенными параллельно проводящей плоскости (над землей). Радиусы проводов R_1, R_2, R_3 , высоты подвесов h_1, h_2, h_3 , межсекое расстояние r_{12}, r_{23}, r_{31} при этом $r \gg R, h \gg R$. (рис. 1.2) [1, С. 125]. Для трехфазных воздушных линий (ВЛ) применяются различные варианты расположения проводов в пространстве. На рис. 1.2. приведен наиболее распространенный вариант расположения проводов. Провода размещают по вершинам равностороннего треугольника (метод зеркальных изображений) [2, С. 125].

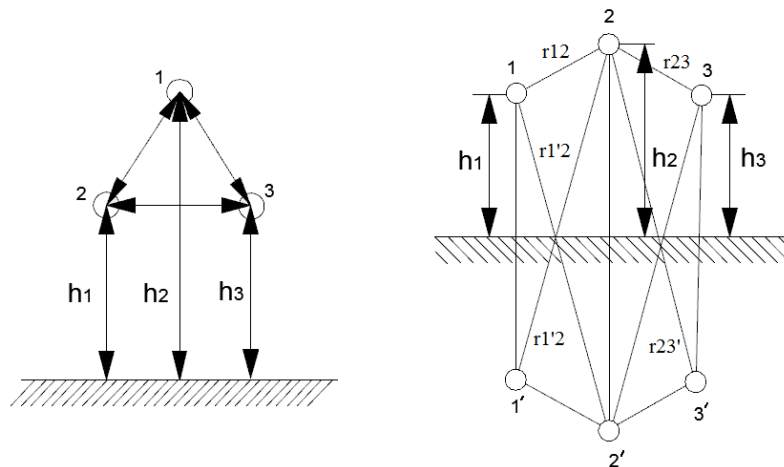


Рис. 2 – Система проводов над поверхностью земли.

Определение емкости

Для расчета выберем наиболее часто используемые в ВЛ классом напряжение 6-10 кВ опоры марки СМ110-6 [3, С. 15], [4, С. 24]. Расположение проводов в таких линиях выполнено в треугольнике межсекоем расстоянием между проводами $r_{13} = 2,2$ м. Высота опоры от земли до крайнего провода, расположенного в вершине треугольника, составляет $h_2 = 12$ м. Высота подвеса двух других проводов составляет $h_1 = h_3 = 9,8$ м относительно земли.

Определим межсекое расстояние между проводами

$$r_{12} = r_{23} = \sqrt{\left(\frac{r_{13}}{2}\right)^2 + a^2} = 2.46 \text{ м};$$

Определим радиус провода воздушной линии (ВЛ2)

$$R_1 = R_2 = R_3 = \sqrt{\frac{d}{\pi}} = 6.18 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

При расположении проводов согласно схеме, рисунок 1.2 имеем

$$r_{12'} = \sqrt{\left(\frac{r_{13}}{2}\right)^2 + (h_2 + h_1)^2} = 21.828 \text{ м};$$

$$r_{23}' = r_{12}' = 21.828 \text{ м};$$

$$r_{31}' = \sqrt{r_{13}^2 + (2h_3)^2} = 19.723 \text{ м};$$

Следовательно,

$$C_{\text{вЛ2}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln \left(2 \cdot \frac{\sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}}{\sqrt[3]{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}} \cdot \frac{\sqrt[3]{r_{12}' \cdot r_{23}' \cdot r_{31}'}}{\sqrt[3]{r_{12}' \cdot r_{23}' \cdot r_{31}'}} \right)} = 5.333 \cdot 10^{-8} \text{ Ф};$$

Остальные ВЛ рассчитаны по аналогии, результаты сведены в таблицу 1.4.

Таблица 4 – Расчет емкости воздушных линий электропередач

№ п/п	Марка воздушной линии	Длина, км	Емкость, нФ
ВЛ2	АС-120	5,7	53,333
ВЛ6	АС-95	17	155,999

Емкость кабельной линии

Жилы кабеля находятся в непосредственной близости, как между собой, так и заземленным металлическим оболочкам. Как следствие, рабочая ёмкость кабельных линий значительно превышает аналогичный показатель ВЛ. Диэлектрическая проницаемость кабельной изоляции также превосходит диэлектрическую проницаемость воздуха. На практике, определение рабочей емкости достаточно проблематично, так как кабели не имеют геометрических размеров, к тому же их конструкции многообразны. С учетом данных факторов чаще всего прибегают к проведению заводских или эксплуатационных измерений.

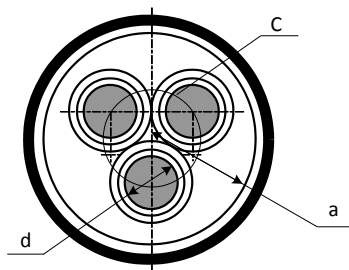


Рис. 1.3 – Поперечный разрез кабельной линии

Для кабеля сечением 120 мм² параметры с = 10 мм, а = 20 мм [5, С. 56],

Для кабеля сечением 70 мм² параметры с = 6 мм, а = 12 мм,

Для кабеля сечением 240 мм² параметры с = 20 мм, а = 40 мм.

Произведенный расчет емкости кабельных линий сведен в таблицу 1.5.

Таблица 5 – Расчет емкости кабельных линий электропередачи

№ п/п	Марка кабельной линии	Длина, км	α_{11}	α_{12}	Емкость, Ф.
КЛ1	ААШв 3х120	17,7	$4,349 \cdot 10^5$	$2,907 \cdot 10^5$	$6,94 \cdot 10^{-6}$
КЛ3	АВБбШв 3х120	7,2	$10,691 \cdot 10^5$	$7,148 \cdot 10^5$	$2,82 \cdot 10^{-6}$
КЛ4	АВБбШв 3х120	13,8	$5,578 \cdot 10^5$	$3,729 \cdot 10^5$	$5,41 \cdot 10^{-6}$
КЛ5	АСБГ 3х120	13,5	$5,702 \cdot 10^5$	$3,812 \cdot 10^5$	$5,29 \cdot 10^{-6}$
КЛ7	ВБбШв 3х70	8	$10,789 \cdot 10^5$	$6,433 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-6}$
КЛ8	СБГ 3х70	15,9	$5,429 \cdot 10^5$	$3,237 \cdot 10^5$	$4,56 \cdot 10^{-6}$
КЛ9	ААБлГ 3х120	16,6	$4,637 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$6,51 \cdot 10^{-6}$
КЛ10	ААШв 3х240	6,5	$9,443 \cdot 10^5$	$7,917 \cdot 10^5$	$6,553 \cdot 10^{-6}$

Суммарная емкость всех отходящих линий составит:

$$C_{\Sigma} = 4,059 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

Таблица 6 – Рассчитанные параметры сети с изолированной нейтралью при замыкании на землю

Z_H , Ом	R_H , Ом	X_H , Ом	L_H , Гн	X_{Σ} , Ом	I_{CA} , А	I_{CB} , А	I_{CC} , А
3,485	2,788	2,091	0,00667	$-j78,43$	$48,59i$	$42,078 - 24,29i$	$42,078 + 24,29i$

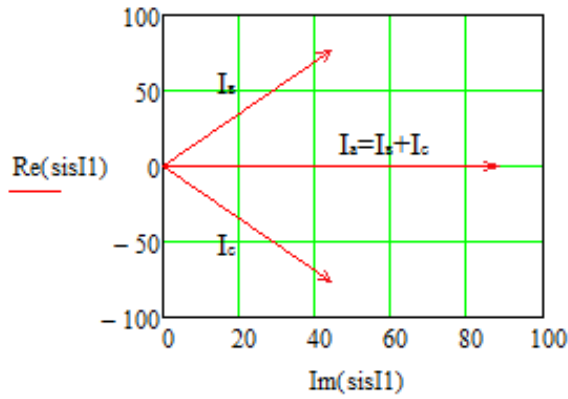


Рис. 4 – Векторная диаграмма ёмкостных токов при однофазном замыкании на землю

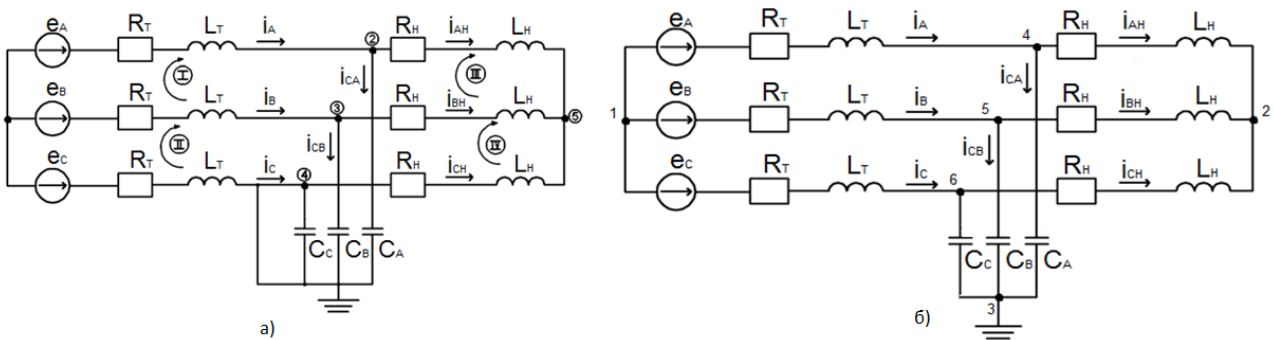


Рис. 5 – схемы замещения трехфазной линии электропередачи с изолированной нейтралью: а – при однофазном замыкании на землю; б – в нормальном режиме работы

Исходя из схемы замещения (рис. 1.5 а) составляются уравнения согласно первому и второму закону Кирхгофа, которые приводятся к нормальной форме Коши [6, С. 120].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_B}{dt} = \frac{1}{L_T} \cdot (-i_B \cdot L_T + \frac{1}{3} \cdot U_{CA} - \frac{2}{3} \cdot U_{CB} + E_m \cdot \sin(2\pi f - \varphi)); \\ \frac{di_C}{dt} = \frac{1}{L_T} \cdot (-i_C \cdot L_T + \frac{1}{3} \cdot U_{CA} + \frac{1}{3} \cdot U_{CB} + E_m \cdot \sin(2\pi f + \varphi)); \\ \frac{di_{AC}}{dt} = \frac{1}{L_H} \cdot (-i_B \cdot R_H - i_C \cdot (R_H - \frac{L_H}{L_T} \cdot R_T) - \\ - i_{AC} \cdot (R_H - \frac{L_H}{L_T} \cdot R_T) - \frac{2}{3} \cdot U_{CA} \cdot (\frac{L_H}{L_T} + 1) + \\ + \frac{1}{3} \cdot U_{CB} \cdot (\frac{L_H}{L_T} + 1) - \frac{L_H}{L_T} \cdot (E_m \cdot \sin(2\pi f - \varphi) + E_m \cdot \sin(2\pi f + \varphi))); \\ \frac{di_{BC}}{dt} = \frac{1}{L_H} \cdot (-i_{BC} \cdot R_H + i_B \cdot (R_H + \frac{L_H}{L_T} \cdot R_T) + \\ + \frac{1}{3} \cdot U_{CA} \cdot (\frac{L_H}{L_T} + 1) - \frac{2}{3} \cdot U_{CB} \cdot (\frac{L_H}{L_T} + 1) + \frac{L_H}{L_T} \cdot (E_m \cdot \sin(2\pi f - \varphi))); \\ \frac{dU_{CA}}{dt} = \frac{1}{C_\Sigma} \cdot i_{AC}; \\ \frac{dU_{CB}}{dt} = \frac{1}{C_\Sigma} \cdot i_{BC}; \end{array} \right. \quad (1)$$

Далее, чтобы определить начальные условия для системы уравнений, приведенной выше, решается схема замещения ЛЭП в нормальном режиме (рис. 1.5 б), используя метод узловых потенциалов [7, С. 131].

Соответственно система уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_3 = 0; \\ \varphi_1 \cdot (Y_a + Y_b + Y_c) - \varphi_4 \cdot Y_a - \varphi_5 \cdot Y_b - \varphi_6 \cdot Y_c = -(\dot{E}_a \cdot Y_a + \dot{E}_b \cdot Y_b + \dot{E}_c \cdot Y_c); \\ \varphi_2 \cdot (Y_{Ha} + Y_{Hb} + Y_{Hc}) - \varphi_4 \cdot Y_{Ha} - \varphi_5 \cdot Y_{Hb} - \varphi_6 \cdot Y_{Hc} = 0; \\ \varphi_4 \cdot (Y_a + Y_{Ha} + Y_{ca}) - \varphi_1 \cdot Y_a - \varphi_2 \cdot Y_{Ha} = \dot{E}_a \cdot Y_a; \\ \varphi_5 \cdot (Y_b + Y_{Hb} + Y_{cb}) - \varphi_1 \cdot Y_b - \varphi_2 \cdot Y_{Hb} = \dot{E}_b \cdot Y_b; \\ \varphi_6 \cdot (Y_c + Y_{Hc} + Y_{cc}) - \varphi_1 \cdot Y_c - \varphi_2 \cdot Y_{Hc} = \dot{E}_c \cdot Y_c; \end{array} \right. \quad (2)$$

Решим полученную систему уравнений (2)

$$\begin{pmatrix} \varphi_1 = 0 \text{ В;} \\ \varphi_2 = 0 \text{ В;} \\ \varphi_3 = 0 \text{ В;} \\ \varphi_4 = 3604,126 - 244,474i \text{ В;} \\ \varphi_5 = -2013,783 - 2999,028i \text{ В;} \\ \varphi_6 = -1590,343 + 3243,501i \text{ В;} \end{pmatrix}$$

Токи и напряжения на емкостях

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= (\varphi_1 - \varphi_4 + \dot{U}_A) \cdot Y_T = 788,418 - 630,713i \text{ А;} \\ \dot{I}_B &= (\varphi_1 - \varphi_5 + \dot{U}_B) \cdot Y_T = -940,422 - 367,434i \text{ А;} \\ \dot{I}_C &= (\varphi_1 - \varphi_6 + \dot{U}_C) \cdot Y_T = 153,492 + 998,755i \text{ А;} \\ \dot{I}_{AH} &= (\varphi_2 - \varphi_4) \cdot Y_H = -785,301 + 676,668i \text{ А;} \\ \dot{I}_{BH} &= (\varphi_2 - \varphi_5) \cdot Y_H = 978,663 + 341,756i \text{ А;} \\ \dot{U}_{ca} &= \varphi_4 = 3604,126 - 244,474i \text{ В;} \\ \dot{U}_{cb} &= \varphi_5 - \varphi_1 = -2013,783 - 2999,028i \text{ В;} \\ \dot{U}_{cc} &= \varphi_6 - \varphi_1 = -1590,343 + 3243,501i \text{ В;} \end{aligned}$$

Мгновенные значения токов и напряжений в установившемся режиме сведены в таблицу 1.7, эти значения являются начальными условиями для решения системы (1). Решая систему (1) найдем перенапряжение на емкостях в неустановившемся режиме, $U_{CA\text{неуст}}$ и $U_{CB\text{неуст}}$.

Таблица 7 – Мгновенные значения токов и напряжений

t, c	i_B , А	i_C , А	i_{CA} , А	i_{CB} , А	$U_{CA\text{ неуст}}$, В	$U_{CB\text{ неуст}}$, В	$U_{CA\text{ уст}}$, В	$U_{CB\text{ уст}}$, В
0	1423.677	-1393.61	1097.643	2162.703	21094,573	1929,408	-3437.347	-4992.40
0.002	1079.11	-1313.31	2172.715	2421.046	25291.313	25343.893	-5001.759	-4674.06
0.004	322.359	-731.377	2417.883	1754.632	23691.546	26044.012	-4655.67	-2570.39
0.006	-557.522	129.923	1739.502	418.008	20151.777	19601.352	-2531.273	515.084
0.008	-1224.44	941.597	396.691	-1078.28	16751.237	16723.609	559.984	3403.814
0.01	-1423.67	1393.613	-1097.64	-2162.70	21481.108	24713.367	3437.347	4992.403
0.012	-1079.11	1313.316	-2172.71	-2421.04	25792.84	28526.814	5001.759	4674.064
0.014	-322.359	731.377	-2417.88	-1754.63	24759.642	26189.952	4655.67	2570.391
0.016	557.522	-129.923	-1739.50	-418.008	18954.832	19449.624	2531.273	-515.084
0.018	1224.448	-941.597	-396.691	1078.28	12830.869	13156.765	-559.984	-3403.81
0.02	1423.677	-1393.61	1097.643	2162.703	21094.573	19299,408	-3437.347	-4992.40

Решая систему уравнений (1), используя метод Рунге-Кутты получаем следующий график перенапряжения на емкости фазы В в начальный момент времени (t=0).

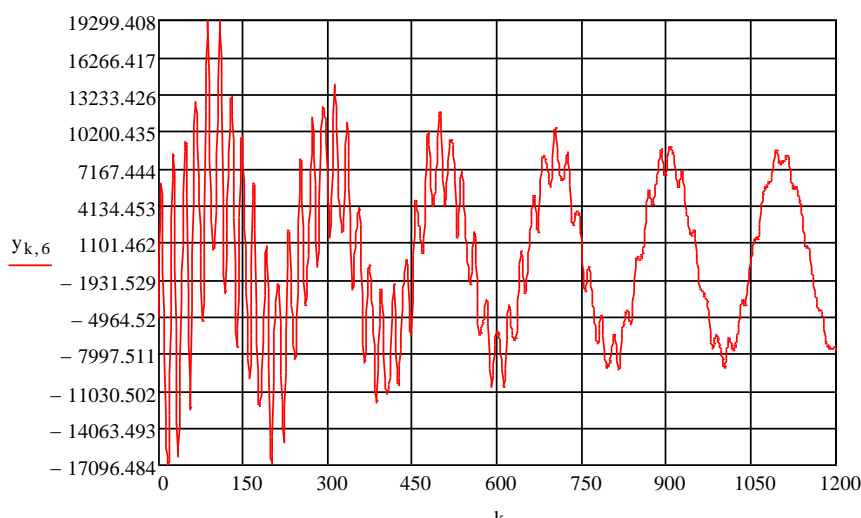


Рис. 6 – Перенапряжение, возникающее при замыкании фазы В на землю

В соответствии с таблицей 1.7, получены графики перенапряжения на емкостях.

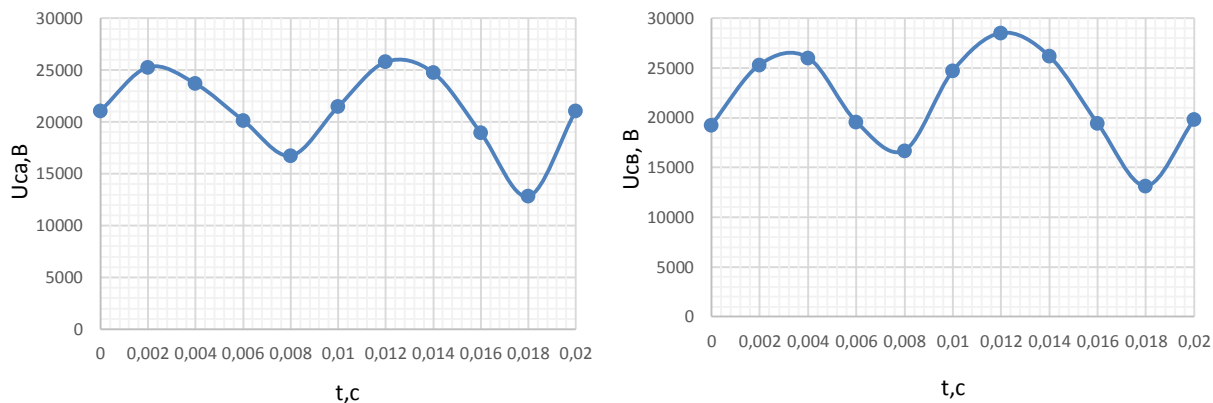


Рис. 7 – Графики перенапряжения на емкостях

Выбор дугогасительного реактора

При определении мощности реакторов по значению ёмкостного тока сети важно оценивать возможность расширения сети на ближайшее десятилетие. В случае, если информация о перспективе формирования сети отсутствует, для исчисления мощности реакторов используется значение ёмкостного тока сети, с ростом на 25% [8, С. 119].

Расчётная мощность реакторов Q_p (кВар)

$$Q_p = I_c \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} = 182,202 \cdot \frac{6,6}{\sqrt{3}} = 694,283 \text{ кВар},$$

$$I_c = 1,25 \cdot (\sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_{\Sigma} \cdot U_{\text{ном}}) = \sqrt{3} \cdot 314 \cdot 4,059 \cdot 10^{-5} \cdot 6600 = 182,202 \text{ А}.$$

Исходя из полученных выше значений выбираем плунжерный ДГР марки ZTC-800 со следующими характеристиками [9, С. 200].

Таблица 8 – Характеристики реактора ZTC-800

Тип реактора	Мощность, кВ·А	Номинальное напряжение, кВ	Предельное значение тока компенсации, А
ZTC-800	800	$6,3/\sqrt{3}$	22-220

Вывод: в данной статье исследовали сеть с изолированной нейтралью на перенапряжение при однофазном замыкании на землю, тем самым доказали, что компенсированная нейтраль более целесообразна к применению. Произвели выбор реактора по РД 34.20.179 [10, С. 15].

Список литературы / References

1. Вычегжанин А. В. Исследование режимов работы нелинейных ограничителей перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях с изолированной нейтралью: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02 / Вычегжанин Андрей Владиславович – Киров: ВГТУ., 2000. – 125 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.
3. СНиП-11-01-95, Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – Минстрой России, 1995. – 15-16 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд. 7, 2001 - 2004 г.г. – 25 с.
5. ТКП 181-2009 (02230) «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей». – Минэнерго, 2009. – 56-65 с.
6. Лебедев В. К. Переходные процессы в системах электроснабжения собственных нужд электростанций / В. К. Лебедев, В. Ф. Сивокобыленко // РВА ДонНТУ, Донецк – 2002. – 136 с.
7. Олейник С. И. Разработка защиты от однофазных замыканий, селективной в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02 / Олейник Сергей Иванович – Омск: ОмГТУ., 2004. – 260 с.
8. Лукьянов Т. П., и др., Техническая эксплуатация электроустановок пром. предприятий / Т. П. Лукьянов. – Энергоатомиздат (ЭАИ), М., 1986. – 120 с.
9. Хассан С. Х. Моделирование и анализ режимов раздельной и параллельной работы вводов на различных уровнях системы электроснабжения: дис. ... канд. тех. наук: 05.09.03 / Хассан Салман Хамад – Москва: МЭИ., 2003. – 262 с.
10. РД 34.20.179 «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ». – 1987. – 15 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vychezhzhanin A. V. Issledovanie rezhimov raboty nelineinykh ogranichitelei perenaprazhenii pri dugovykh zamykaniyakh na zemliu v setiakh s izolirovannoi neitraliu: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.14.02 [Study of Operating Modes of Nonlinear Overvoltage Limiters in Arc Circuits on Ground in Networks with Isolated Neutral: Thesis of PhD in Engineering: 05.14.02] / Vychezhzhanin Andrei Vladislavovich – Kirov: VSTU., 2000. – 125 p.

2. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Elektromagnitnoe pole: Uchebnik dlia elektrotekhn., energ., priborostroit. spets. vuzov. – 8-e izd., pererab. i dop. [Theoretical Foundations of Electrical Engineering. Electromagnetic Field: Textbook for Electrical, Power, Instrument Engineering of Universities. – 8th ed., Revised and Edited] / L. A. Bessonov. – M.: Vysshaya shkola., 1986. – 263 p.
3. SNiP-11-01-95, Instruktsiya o poriadke razrabotki, soglasovaniya, utverzhdeniya i sostave proektnoi dokumentatsii na stroitelstvo predpriatii, zdanii i sooruzhenii. [Instruction on the Procedure for the Development, Approval and Composition of Project Documentation for the Construction of Enterprises, Buildings and Structures] – Ministry of Construction of Russia, 1995. – 15-16 p.
4. Pravila ustroistva elektroustanovok (PUE) [Rules for the Installation of Electrical Installations (RIE)], issue 7, 2001 - 2004. – 25 p.
5. TKP 181-2009 (02230) «Pravila tehnikeskoi ekspluatatsii elektroustanovok potrebitelii» [Rules of Technical Operation of Electrical Installations of Consumers]. – Minenergo, 2009. – 56-65 p.
6. Lebedev V. K. Perekhodnye protsessy v sistemakh elektrosnabzheniya sobstvennykh nuzhd elektrostantsii [Transient Processes in Power Supply Systems of Power Plants Needs] / V.K. Lebedev, V.F. Sivokobylenko // RVA DonNTU, Donetsk – 2002. – 136 p.
7. Oleinik S. I. Razrabotka zashchity ot odnofaznykh замыканий, selektivnoi v setiakh s izolirovannoi i kompensirovannoi nitralliu: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.14.02 [Development of Protection against Single-Phase Circuit, Selective in Networks with Isolated and Ccompensated Neutral: Thesis of PhD in Engineering: 05.14.02] / Oleinik Sergey Ivanovich - Omsk: Omsk State Technical University., 2004. – 260 p.
8. Lukianov T. P., i dr., Tekhnicheskaya ekspluatatsiya elektroustanovok prom. Predpriatii [Technical Operation of Electrical Installations at Industrial Enterprises] / T.P. Lukyanov. - Energoatomizdat (EAI), M., 1986. - 120 p.
9. Hassan S. H. Modelirovanie i analiz rezhimov razdelnoi i parallelnoi raboty vvodov na razlichnykh urovniakh sistemy elektrosnabzheniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.09.03 [Modeling and Analysis of Modes of Separate and Parallel Operation of Insertions at Various Levels of the Power Supply System: Thesis of PhD in Engineering: 05.09.03] / Hassan Salman Hamad - Moscow: MEI., 2003. – 262 p.
10. RD 34.20.179 «Tipovaya instruktsiya po kompensatsii emkostnogo toka замыкания на землю в электрических сетях 6-35 kV» [Typical Instruction for Compensation of the Capacitive Ground Circuit Current in 6-35 kV Electric Networks]. – 1987. – 15 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.089>

Дунаев А.А.

ORCID: 0000-0002-8546-1871, Аспирант

Кафедра ИТАС, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЦ

Аннотация

В работе представлен оригинальный подход к решению задачи определения изоморфизма графов, используемый в системе распознавания лиц. Оригинальность предлагаемого в статье подхода базируется на хешировании структуры графа, используя в качестве инвариантной характеристики графа кратчайшие расстояний между всеми вершинами. Для поиска граничных точек частей лица на изображении применяется метод признаков Хаара. Для считывания подсчета характеристик точек на изображении применяется SURF-дескриптор. На основании рассчитанных значений дескрипторов составляются графы.

Ключевые слова: граф, изоморфизм, идентификация лиц, хеширование графа.

Dunaev A.A.

ORCID: 0000-0002-8546-1871, Postgraduate Student

Department of ITAS, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

USING THE THEORY OF GRAPHS FOR FACE IDENTIFICATION

Abstract

The paper presents an original approach to solving the problem of determining graph isomorphism with the help of the face recognition system. The originality of the approach proposed in the article is based on the hashing of the graph structure, using the shortest distance between all vertices as the invariant characteristic of the graph. The Haar-like feature method is used to find the boundary points of the faces in the image. A SURF descriptor is used to read the calculation of the points' characteristics on the image. Based on the calculated descriptor values, graphs are made.

Keywords: graph, isomorphism, face identification, graph hashing.

Введение

Очевидный практический интерес представляет задача распознавания и идентификация лиц. Для решения этой задачи применяют различные подходы, например, нейросетевые модели, технику вейвлет-преобразований, логико-алгебраические методы и т.д. Особое место занимает подход на основе решения задачи об изоморфизме графов. Его достоинство усматривается в том, свойство изоморфизма «инвариантно» относительно растяжений, сжатий, поворотов, смещений графов, а также сохраняет математически неизменную формулировку при распознавании изоморфизма графов.

Описание задачи изоморфизма графов

В теории графов изоморфизмом графов называется биекция множества вершин графа G на множество вершин графа H , сохраняющая отношение смежности. Другими словами, для любых вершин u и v графа G их образы и смежны в H тогда и только тогда, когда u и v смежны в G . Отношение изоморфизма графов является эквивалентностью, т.е. оно симметрично, транзитивно и рефлексивно [2].

Анализ подходов

В настоящее время существует большое количество подходов в вопросе решения задачи изоморфизма графов.

Часть из них основано на доказательстве одинаковости структуры графов путем их параллельного обхода. Но использование этих методов требует больших временных затрат, особенно если речь идет о проверке структуры больших графов, состоящие из десятков вершин.

Другая часть подходов основывается на сравнении инвариантных характеристик графа, не зависящих от порядка нумерации вершин и ребер. Например, степени вершин графа. Однако, как показывает практика, данная характеристика является не достаточной, чтобы утверждать, что графы изоморфны [3].

Описание алгоритма считывания изображения лица в графы

Основные этапы алгоритма считывания изображения лица в графы:

- считывается изображение, на котором присутствует изображение лица;
- используя метод признаков Хаара, на изображении ищется изображение лица;
- из большого изображения вырезается изображение лица, дальнейшая обработка будет происходить с ним [5];
- размеры изображения лица изменяется на «квадратные», например, 100x100 точек, что поможет в случае, если изображение лица было растянуто, сжато или наклонено;
- используя метод признаков Хаара, на изображении лица ищутся угловые точки глаз, губ, носа, бровей [9, 10];
- используя SURF-дескриптор, в каждой из этих точек вычисляется значение дескриптора, который является вектором из 128 дробных чисел [7];
- строится граф с количеством вершин равным количеству найденных на предыдущих шагах точек с весами равными среднему арифметическому из предыдущего шага;
- все вершины соединяются ребрами;
- каждому ребру задается вес равный среднему арифметическому весов смежных вершин.

Построенный нечеткий граф описывает считанное изображение лица. Для сравнения изображений лиц достаточно проверить изоморфизм соответствующих им графов.

Описание алгоритма решения задачи изоморфизма графов

Рассматриваемый алгоритм основан на сравнении результатов хеширования графов. Рассмотрим основные этапы алгоритма решения задачи изоморфизма графов:

- по графу составляется матрица смежностей, состоящая из дробных чисел;
- выбирается число N уровней, например, 5;
- диапазон чисел в матрице смежностей делится на N частей, так чтобы их граничные значения V_1, \dots, V_{N-1} были целыми или кратными 0,5;
- из имеющейся матрицы смежностей с дробными числами строится $N-1$ целочисленных матриц смежностей используя следующее правило, если значение в исходной матрице меньше V_i , то в целочисленной матрице в соответствующей ячейке пишется 0, иначе - 1;
- для каждой целочисленной матрицы смежностей строится матрица кратчайших расстояний между любыми двумя вершинами, получается симметричная матрица, на главной диагонали которой 0;
- по каждой строке матриц кратчайших расстояний вычисляется среднее арифметическое и для каждой матрицы составляется последовательность из средних кратчайших расстояний;
- полученные последовательности дробных чисел упорядочиваются по возрастанию элементов.

Полученные последовательности дробных чисел вместе с соответствующими уровнями являются «хеш-кодом» структуры рассматриваемого нечеткого графа. Теперь для того, чтобы определить являются ли графы изоморфными достаточно сравнить их «хеш-коды» по алгоритму, описанному выше.

Пример

В данном примере будет рассмотрен простой случай сравнения двух фотографий одного человека (рис. 1).



Рис. 1 – Считанные изображения человека

Следующим шагом используя метод признаков Хаара, на изображении лица ищется изображение лица и вырезается. Размеры изображения изменяется на «квадратные», для исправления растягивания и сжатия изображений и наклонов. Используя метод признаков Хаара, на изображениях лица ищутся угловые точки глаз, губ, носа и бровей (рис. 2).



Рис. 2 – Найденные точки частей лица на изображениях лиц

Используя SURF-дескриптор, в каждой из этих точек вычисляется значение дескриптора, который является вектором дробных чисел. Находится среднее арифметическое каждого вектора (табл. 1).

Таблица 1 – Средние арифметические векторов SURF дескрипторов

№	Название точки	Значение среднего вектора SURF-дескриптора	
		Первое изображение	Второе изображение
1	Середина носа слева	0,120741	0,135028
2	Верх левого глаза	0,111313	0,087418
3	Верх правого глаза	0,051477	0,103232
4	Корень носа слева	0,169554	0,150959
5	Левый угол губ	0,192544	0,143660
6	Низ правого глаза	0,069248	0,108784
7	Центр носа	0,127991	0,170225
8	Корень носа справа	0,176355	0,154309
9	Середина носа справа	0,182539	0,194021
10	Низ левого глаза	0,071085	0,103680
11	Внутренняя левого глаза	0,167743	0,139524
12	Внешняя правого глаза	0,142344	0,144758
13	Внешняя левого глаза	0,144429	0,118897
14	Верх верхней губы	0,185874	0,189344
15	Правый угол губ	0,119799	0,154154
16	Низ верхней губы	-0,135612	-0,125378
17	Верх нижней губы	-0,084521	-0,108821
18	Внутренняя правого глаза	-0,057081	-0,083396

Каждая пара точек на изображении соединяется ребром графа, которому задается вес, равный среднему арифметическому значения дескриптора в соответствующих точках. Полученные графы записываются в виде матриц смежностей состоящие из дробных чисел.

Далее необходимо проверить являются ли эти два графа изоморфными. Числа в матрицах смежностей находятся в диапазоне от -0,135612 до 0,194021. Выбирается число уровней, например, 6. Выбираются граничные значения уровней: -0,1; -0,05; 0; 0,05; 0,1; 0,15. Для каждого графа составляется 6 целочисленных матриц смежностей по следующему правилу. Если значение в ячейке исходной матрицы по каждому уровню больше либо равно граничному значению, то ставится единица, иначе ставится ноль.

После этого в матрицах смежностей все единицы, обозначающие наличие ребра между вершинами, заменяются на среднее арифметическое степени, связанных вершин. Следующим шагом, для каждой матрицы смежностей считаются матрицы кратчайших расстояний. По каждой строке которых, вычисляется среднее арифметическое и составляются средние арифметические кратчайших расстояний для каждой вершины графов по установленным уровням (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Средние арифметические кратчайших расстояний по вершинам первого графа

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-0,10	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,3	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	15,0	16,3	16,8
-0,05	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	15,1	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	14,2	14,2	14,2
0	15,4	15,4	14,5	15,8	15,8	15,0	14,5	15,9	15,9	15,0	15,9	15,9	15,9	15,9	15,4	11,0	12,3	13,2
0,05	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	-0,06	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
0,10	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	-0,06	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
0,15	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Таблица 3 – Средние арифметические кратчайших расстояний по вершинам второго графа

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-0,10	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	15,7	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	14,4	14,8	16,2
-0,05	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	15,1	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	14,2	14,2	14,2
0	15,9	15,1	15,1	15,9	15,9	15,1	14,6	15,9	15,9	15,1	15,9	15,9	15,5	15,9	15,9	11,5	11,9	13,7
0,05	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	-0,06	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
0,10	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	-0,06	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
0,15	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	-0,06	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83

Для получения «хеш-кодов» графов необходимо упорядочить данные последовательности для каждого уровня.

Составленные «хеш-коды» сравниваются по уровням. Результат сравнения «хеш-кодов» по уровням показан в таблице 4.

Таблица 4 – Результат сравнения «хеш-кодов» по уровням

Уровень	-0,1	-0,05	0	0,05	0,1	0,15
Результат сравнения	-	+	-	+	+	-

Если все пары «хеш-кодов» равны, то можно говорить о том, что рассматриваемые графы абсолютно изоморфны. В рассматриваемом примере 50% пар «хеш-кодов» графов совпадают, что свидетельствует о достаточно высоком уровне схожести этих графов и изображений лиц, на которых они построены.

Экспериментальная проверка метода

Для проверки надежности данного метода была разработана программа, реализующая данный метод, позволяющая считывать фотографии, находить изображения лиц, генерировать графы и проверять их на изоморфизм. Проведены успешные эксперименты с различными фотографиями лиц: мужские и женские, разные цвета кожи.

Однако данный метод не способен различать изображения лиц при значительном передвижении объекта съемки, например, повороте головы, изменении прически или наличия очков.

Заключение

Предложенный метод могут прямо использоваться в различных интеллектуальных системах. Например, можно использовать описанный подход для идентификации лиц на фотографиях. Однако в отношении идентификации лиц дело упирается в способ проецирования оригинала. Метод изоморфизма графов не может быть применен в этом случае непосредственно.

Разработанная программа позволила получить результаты практического применения метода. Также большим плюсом в данном подходе является возможность хранения графов в базе, сохраняя только «хеш-коды», состоящие из десятичных чисел. Составив таким образом базу образов, например, базу лиц. Поиск по десятичным числам проходит мгновенно. Таким образом данный подход может быть успешно использован для решения некоторых задач распознавания лиц и образов.

Список литературы / References

1. Luks E.M. Isomorphism of graphs of bounded valence can be found in polynomial time // Journal of Computational Sciences. 1982, № 25(vol.1). P. 42–65.
2. Babai L. Moderately exponential bound for graph isomorphism. // Proceedings of the International FCT-Conference on foundations of computer theory. – London, 1981, P. 34–50.
3. Babai L. Random graph isomorphism // L. Babai, Erdos P., Selkow M. SIAM Journal of Computing, № 9 (vol. 3), 1980, P. 628-635.
4. Bahram Javidi Image Recognition and Classification: Algorithms, Systems, and Applications // CRC Press, 2002
5. Boguslaw Cyganek Object Detection and Recognition in Digital Images: Theory and Practice // Wiley, 2013
6. Lowe D. G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. 2004. 60. № 2, P. 91–110.
7. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Gool L. V. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). 2008. 110. №3. P. 346–359.
8. Torres-Méndez L.A., Ruiz-Suárez J. C., Sucar L. E., Gómez G. Translation, Rotation, and Scale-Invariant Object Recognition // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 2000. 30, № 1. P. 125–130.
9. Stan Z. Li, Anil Jain Handbook of Face Recognition // Springer Science & Business Media, 2011
10. Asit Kumar Datta, Madhura Datta, Pradipta Kumar Banerjee Face Detection and Recognition: Theory and Practice // Chapman and Hall, 2015

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.055>Ковалев В.З.¹, Архипова О.В.², Архипов А.В.³, Черкасова А.В.⁴¹ORCID: 0000-0002-4512-6868, Доктор технических наук, профессор,²ORCID: 0000-0002-8773-8846, ст. преподаватель, ^{3,4}магистрант,

Югорский государственный университет

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АДАПТИВНО – СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ**Аннотация**

В статье рассматривается разработанный энергетический подход к адаптивно-селективной сборке электротехнических комплексов нефтегазодобычи как интегральное развитие теории селективной сборки, теории надежности и теории преобразования энергии электротехническими комплексами и системами.

Показана необходимость применения математического моделирования электротехнических комплексов и систем, как совокупности взаимодействующих и взаимно влияющих элементарных систем различной физической природы. Рассматриваемая задача, основана на предварительном анализе процессов преобразования энергии протекающих в подсистемах электротехнических комплексов нефтегазодобычи.

Ключевые слова: погружной электродвигатель, моделирование, энергоэффективность, установки электроцентробежных насосов.

Kovalev V.Z.¹, Arkhipova O.V.², Arkhipov A.V.³, Cherkasova A.V.⁴¹ORCID: 0000-0002-4512-6868, PhD in Engineering, professor, Yugra State University,²ORCID: 0000-0002-8773-8846, Senior Lecturer, Yugra State University,^{3,4}Master's Degree Student,

Yugra State University

ENERGY APPROACH TO THE ADAPTIVE AND SELECTIVE ASSEMBLY OF ELECTRO-TECHNICAL COMPLEXES OF OIL AND GAS PRODUCTION**Abstract**

The article deals with the developed energy approach to the adaptive selective assembly of electro-technical oil and gas production complexes as an integral development of the theory of selective assembly, reliability theory and the theory of energy conversion by electrical complexes and systems.

The necessity of application of mathematical modeling of electro-technical complexes and systems as a set of interacting and mutually influencing elementary systems of different physical nature is shown. The problem under consideration is based on the preliminary analysis of the energy conversion processes in the electrical systems of oil and gas production in the subsystems.

Keywords: submerged electric motor, modeling, energy efficiency, installation of electric centrifugal pumps.

Затраты электроэнергии являются одной из важнейших составляющих материальных ресурсов, необходимых для обеспечения эффективной работы добывающих предприятий топливно – энергетического комплекса. В настоящее время нестабильная ситуация на мировом нефтяном рынке сделала вопросы снижения себестоимости продукции добывающих предприятий топливно-энергетического комплекса, особо актуальными. Отметим, что значительные резервы заложены в снижении расходов за счет снижения энергозатрат.

Предварительные расчеты показывают, что основываясь на том что, удельные затраты электроэнергии на производство единицы продукции составляют от 30 до 50 % от общей суммы затрат, снижение электропотребления при нефтедобыче всего на два процента, только в масштабах одного Ханты – Мансийского автономного округа – Югры, где насчитывается около 150000 скважин, позволит сэкономить более одного миллиарда кВт час в год. Данными обстоятельствами обусловлена актуальность задачи повышения надежности и энергетических характеристик электротехнических комплексов и систем нефтегазодобычи, как реализующих (производство, транспортировка, потребление) основной объем производимой электрической энергии.

В российской и зарубежной практике, как правило, принципы селективной сборки строятся для физически однородных параметров [1], [2]. В электроэнергетической области проблема усугубляется тем, что ключевые параметры изделия или технологического процесса в целом (коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, коэффициент искажения, коэффициент извлечения нефти,...) являются производными взаимодействующих факторов имеющих разную физическую природу [3, С. 56-67]. Например, электротехнический комплекс (ЭТК) установки электроцентробежного насоса (УЭЦН) содержит несколько электрических подсистем, магнитные подсистемы трансформатора и погружного электродвигателя, гидравлические подсистемы центробежного насоса и насосно-компрессорной трубы, механические подсистемы насоса, тепловые подсистемы и другие [4, С. 39-43], [5].

Дополнительные трудности, при построении технологии селективной сборки устройств рассматриваемого класса, привносит наличие трудноизмеримых параметров (например, электромагнитное поле воздушного зазора электрической машины), или наличие абстрактных величин в математических моделях реальных объектов (например, распространенная Т-образная схема замещения асинхронной электрической машины содержит абстрактный контур намагничивания). Усугубляет ситуацию отсутствие серийных аппаратов и приборов способных измерить параметры реального устройства соответствующие принятой математической модели с требуемой достоверностью.

Один из путей разрешения указанного противоречия – развитие идей адаптивно-селективной сборки (АСС) с широким применением математического моделирования [6].

Математическое моделирование таких объектов как электротехнические комплексы нефтегазодобычи (ЭТК НГД) требует одновременного учета «медленных» процессов гидравлических и механических с одной стороны и «быстрых»

– электрических и магнитных с другой. Данное обстоятельство порождает следующую вычислительную проблему – так называемую жесткость или жесткую колебательность математической модели.

Требование к высокому уровню адекватности моделирования приводит к канонической исходной форме математической модели ЭТК НГД. Характерная структурная особенность этого класса моделей – принципиальная несводимость к нормальной форме Коши [7] (частные случаи требуют введения значительных упрощающих модель допущений). Что исключает возможность применения значительной части арсенала современных методов численного решения [4]. Учет указанных выше особенностей возможен через построение проблемно-ориентированного численного метода соответствующего структуре рассматриваемого класса математических моделей и их вычислительным особенностям. Как удалось показать в работах [6], [8] такой подход позволяет получать многократное преимущество по критерию «время счета – точность счета». Малое время счета модели, позволяет перейти к высоко формализованной постановке задач оптимального управления процессом АСС многокомпонентных узлов, по моделям в исходной форме, в реальном масштабе времени, что является принципиально новым при решении задач селективной сборки с гарантированной надежностью и энергоэффективностью всего ЭТК.

Соответственно проблема подлежащая решению – математическое моделирование ЭТК НГД, как интегральное развитие теории АСС, теории надежности и теории преобразования энергии ЭТК и системами. Средство решения сформулированной выше проблемы – энергетический подход к построению, как математических моделей собственно объектов исследования, так и к созданию специализированного численного аппарата, соответствующего вычислительной структуре анализируемой модели. Отличительная особенность такого подхода заключена в представлении исходного объекта совокупностью взаимодействующих и взаимно влияющих элементарных систем различной физической [9].

Рассматриваемая задача управления построением энергоэффективного и отвечающего принятым критериям надежности ЭТК НГД, основана на предварительном анализе процессов преобразования энергии протекающих в его подсистемах и анализа их физической природы.

Как следствие, возникает необходимость построения методики декомпозиции объекта исследования (в рассматриваемом случае ЭТК НГД) в указанном направлении. Декомпозиция в данном случае осуществляется через анализ возникающих потоков энергии, анализ их физической природы, анализ превращений энергии одних видов в другие. Одновременно требуется сопоставить понятийный аппарат различных теоретических подходов и построить единый математический аппарат, применимый одновременно для извлечения информации из всей синтезированной математической модели объекта.

В данном направлении ранее предложен аппарат энергетических структурных моделей (ЭСМ), вытекающий из закона сохранения и превращения энергии в формулировке сохранения баланса энергий при их взаимных превращениях для замкнутой системы в любой момент времени [10, С. 259-261]. Это определение приводит к выделению базовых (не сводимых друг к другу) структурных элементов: сумматор, независимый источник энергии, приемник (или потребитель) энергии, преобразователь энергии. Дополнительно рассматривается еще один элемент структурного энергетического моделирования, соответствующий передаче энергии одной физической природы без изменения ее количественных характеристик – силовой канал. Вводится в рассмотрение понятие «элементарная физически однородная система», применительно к рассматриваемому объекту. Построенная на указанных выше принципах, энергетическая структурная модель электротехнического комплекса, представляет собой совокупность физически однородных элементарных систем, находящихся во взаимодействии и оказывающих взаимное влияние на протекающие в них процессы. Введение понятия «элементарная физически однородная система», позволит детализировать процессы энергопреобразования в рассматриваемом элементе. Условные границы физически однородных элементарных систем, могут не совпадать с физическими границами деталей и узлов составляющих анализируемую систему. Структурирование исследуемых систем на основании предложенного подхода позволяет перейти от качественных характеристик к набору количественных, однозначно описывающих виды, взаимодействия и взаимное влияние энергий [9].

Разработанные выше положения, применены для элементов УЭЦН. Эксперимент, проведенный в лабораторных условиях на учебном стенде тестирования погружного электродвигателя федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет», показал правомерность предложенного подхода.

Сформулированные положения и задачи в совокупности составляют основу энергетического подхода к АСС ЭТК НГД, гарантирующей заданные характеристики надежности и энергоэффективности.

Список литературы / References

1. Бонч-Осмоловский М. А. Селективная сборка / М. А. Бонч-Осмоловский. – М.: Машиностроение, 1974. – 144 с.
2. Волоховская О. А. Об одном подходе к снижению уровня вибраций погружных центробежных насосов для нефтедобычи / О. А. Волоховская // Вестник ННГУ. – 2011. №4–2. – С. 82–84.
3. Ковалев В. З. Моделирование электротехнических комплексов и систем как совокупности взаимодействующих подсистем различной физической природы : дис. ... д-ра тех. наук : 05.09.03 : защищена : 30.06.2000 : утв. 08.12.2000 / Ковалев Владимир Захарович. – Омск : ОмГТУ, 2000. – 370 с.
4. Ковалев В. З. Математическое моделирование электротехнических комплексов нефтегазодобычи в задачах энергосбережения : монография / В. З. Ковалев, Г. В. Мальгин, О. В. Архипова ; ГОУ ВПО «ЮГУ». – Ханты-Мансийск : Полиграфист, 2008. – 222 с.
5. Ковалев В. З. Моделирование электротехнических комплексов / В. З. Ковалев, О. А. Петухова, О. В. Архипова и др. // Вестник Югорского государственного университета. – 2014. – № 2 (33). – С. 83–86.
6. Ковалев В. З. Моделирование ЭТК численными методами с двусторонней оценкой глобальной погрешности / ОмГТУ. – Омск, 1999. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 03.02.1999, № 353-В1999.

7. Hairer E., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems / E. Hairer, G. Wanner // Springer Series in Computational Mathematics. – 1996. – V. 14. – 614 p.
8. Ковалев В. З. Оценка погрешности численного моделирования динамики ЭТК / ОмГТУ. – Омск, 1999. – 6 с. – Деп. в ВИНТИ 03.02.1999, № 357-В1999.
9. Ковалев В. З. Методика управления энергоэффективностью и надежностью электротехнического комплекса УЭЦН / В. З. Ковалев, О. В. Архипова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/120-16219> (дата обращения: 10.07.2017).
10. Ковалев В.З. Моделирование процессов управления в электротехнических комплексах и системах / В. З. Ковалев // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – Т. 35 – № 1.2. – С. 259–263.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bonch-Osmolovskij M. A. Selekivnaja sborka [Selective assembly] / M. A. Bonch-Osmolovskij. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 144 p. [in Russian]
2. Volohovskaja O. A. Ob odnom podhode k snizheniju urovnja vibracij pogruzhnyh centрифугal'nyh nasosov dlja nefteдобычи [About the approach to reducing the vibration level of submersible centrifugal pumps for oil production] / O. A. Volohovskaja // Vestnik NNGU [Bulletin of NNGU]. – 2011. № 4–2. – P. 82–84. [in Russian]
3. Kovalev V. Z. Modelirovanie jeлектротехнических комплексов i sistem kak sovokupnosti vzaimodejstvujushhih podsystem razlichnoj fizicheskoj prirody [Modeling of electrotechnical complexes and systems, as summation of interacting subsystems with different physical nature] : dis. ... PhD in Engineering : 05.09.03 : defense of the thesis: 30.06.2000 : approved 08.12.2000 / Kovalev Vladimir Zakharovich. – Omsk : OmGTU, 2000. – 370 p. [in Russian]
4. Kovalev V. Z. Matematicheskoe modelirovanie jeлектротехнических комплексов neftegazodобычи v zadachah jenergosberezhenija : monografija [Mathematical modeling of electrotechnical oil production complexes, for energy-saving aims: monograph] / V. Z. Kovalev, G. V. Malgin, O. V. Arkhipova ; GOU VPO «JuGU». – Khanty-Mansijsk : Poligrafist, 2008. – 222 p [in Russian]
5. Kovalev V. Z. Modelirovanie jeлектротехнических комплексов [Modeling of ETC] / V. Z. Kovalev, O. A. Petuhova, O. V. Arkhipova and others // Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Yugra State Univ.]. – 2014. – № 2 (33). – P. 83–86. [in Russian]
6. Kovalev V. Z. Modelirovanie JeTK chislennymi metodami s dvustoronnej ocenкой global'noj pogreshnosti [Modeling of ETC by numerical methods with two-sided estimation of global error] / OmSTU. – Omsk, 1999. – 6 p. – Dep. in VINITI RAN 03.02.1999, № 353-V1999. [in Russian]
7. Hairer E., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems / E. Hairer, G. Wanner // Springer Series in Computational Mathematics. – 1996. – V. 14. – 614 p.
8. Kovalev V. Z. Ocenка pogreshnosti chislennogo modelirovanija dinamiki JeTK [Estimation of the error in the numerical simulation of the dynamics of the electrical technical complex] / OmSTU. – Omsk, 1999. – 6 p. – Deposit in VINITI RAN 03.02.1999, № 357-V1999. [in Russian]
9. Kovalev V. Z. Metodika upravlenija jenergoeffektivnost'ju i nadezhnost'ju jeлектротехнического комплекса UJeCN [Management technique of energy efficiency and reliability of ESP units] / V. Z. Kovalev, O. V. Arkhipova // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education]. – 2014. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/120-16219> (Accessed: 10.07.2017). [in Russian]
10. Kovalev V.Z. Modelirovanie processov upravlenija v jeлектротехнических комплексах i sistemah [Process control simulation of electrotechnical complexes and systems] / V. Z. Kovalev // Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii [Control systems and information technologies]. – 2009. – V. 35 – № 1.2. – P. 259–263. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.025>

Кондратьева Л.А.

ORCID: 0000-0002-3940-9511, Кандидат технических наук, доцент,

Самарский государственный технический университет

ХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЙНОСТЬ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, СИНТЕЗИРОВАННОЙ В РЕЖИМЕ СВС-Аз**Аннотация**

В работе рассмотрена химическая стадийность образования композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ в режиме СВС с использованием азиды натрия и галоидной соли титана $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$. Установлено, что для получения нитридов из исходных компонентов в процессе горения должны пройти не только реакции азотирования элементарного кремния и атомарного титана, но и реакции разложения, диссоциации и т.п. Исследовано структурообразование композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ и установлено, что продукт, синтезированный из системы « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ » представлял собой чистую, без побочных примесей, смесь нанокристаллических равноосных частиц TiN (28 %), нанокристаллических волокон $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ (11 %) и субмикроструктурных столбчатых кристаллов $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ (61 %).

Ключевые слова: химическая стадийность, структурообразование, композиции, нитриды, азид натрия, галогенид.

Kondratieva L.A.

ORCID: 0000-0002-3940-9511, PhD in Engineering, Associate Professor

Samara State Technical University, Samara

CHEMICAL STADIALITY AND STRUCTURAL FORMATION OF THE COMPOSITION OF $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ SYNTHESIZED IN THE SHS-AS CBC- A_3 MODE**Abstract**

The article considers chemical stadiality of the composition formation of $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ in CBC mode with the use of sodium azide and halogenide salt of titanium $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$. It is established that obtaining nitrides from the initial components in the combustion process requires the nitration of elemental silicon and atomic titanium and also decomposition reactions, dissociation, etc. The structure formation of the composition $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ is studied and it is established that the product synthesized from the system “ $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ ” is a pure mixture of nanocrystalline equiaxial particles without side impurities TiN (28 %), nanocrystalline fibers $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ (11 %) and submicrocrystalline column crystals $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ (61 %).

Keywords: chemical stadiality, structure formation, compositions, nitrides, sodium azide, halogenide.

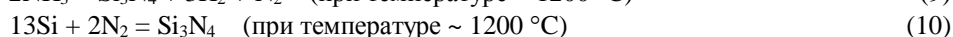
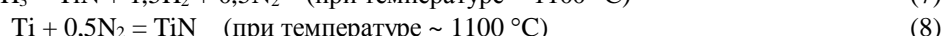
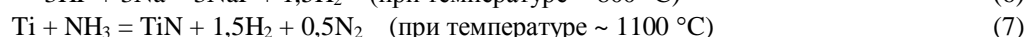
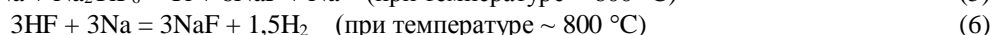
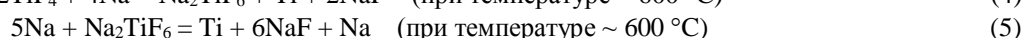
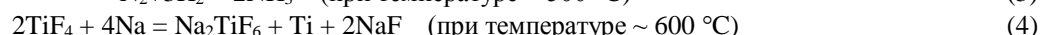
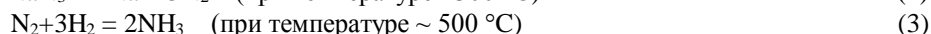
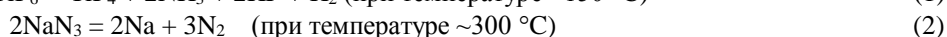
В настоящее время большой интерес представляет вопрос об образовании микроструктуры продуктов и материалов в волне самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Этот синтез был открыт в 1967 году академиком А.Г. Мержановым и профессорами И.П. Боровинской и В.М. Шкиро. Он известен также под названием синтеза горением. В основе метода лежит экзотермическая реакция, протекающая в режиме направленного горения. Процесс осуществляется в тонком слое смеси исходных реагентов после инициирования реакции и самопроизвольно распространяется по всей системе благодаря теплопередаче от горячих продуктов к холодным исходным компонентам.

Для исследования микроструктурных превращений методами растровой электронной микроскопии и рентгеновским дифрактометром необходимо «закалить» волну горения таким образом, чтобы зафиксировать промежуточные микроструктуры в разных зонах волны. Метод закалки СВС-волны основан на резком сбросе давления азота в реакторе с 4 МПа до 0,1-0,2 МПа в процессе синтеза.

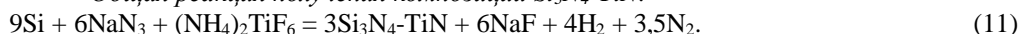
Первоначально для изучения механизма и химической стадийности образования композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ были выбраны из всех исследуемых систем наилучшие по выходным данным (по фазовому и количественному составу) конечные продукты [1, С. 114-116; 2, С. 27-31, 3, С. 1-6; 4, С.130-138]. Наилучшими, из исследуемых систем, оказались конечные продукты, синтезированные из системы « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ » в режиме СВС-Аз: температура горения - 1800 °С, скорость горения - 0,60 см/с.

Для установления стадийности образования композиции «нитрид кремния – нитрид титана» в системе « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ » в процессе горения в интервале температур 500-600 °С и 900-1000 °С была произведена закалка и сделан рентгенофазовый анализ (РФА), который показал, что продукты синтеза состоят из нитридов (TiN , $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$), галоидных солей (TiF_4 , Na_2TiF_6 , NaF) и чистых химических элементов (Ti , Si , Na).

Химическая стадийность образования композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ при горении системы « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ » выглядит следующим образом [5, С. 76-77; 6, С. 111-116]:



Общая реакция получения композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$:



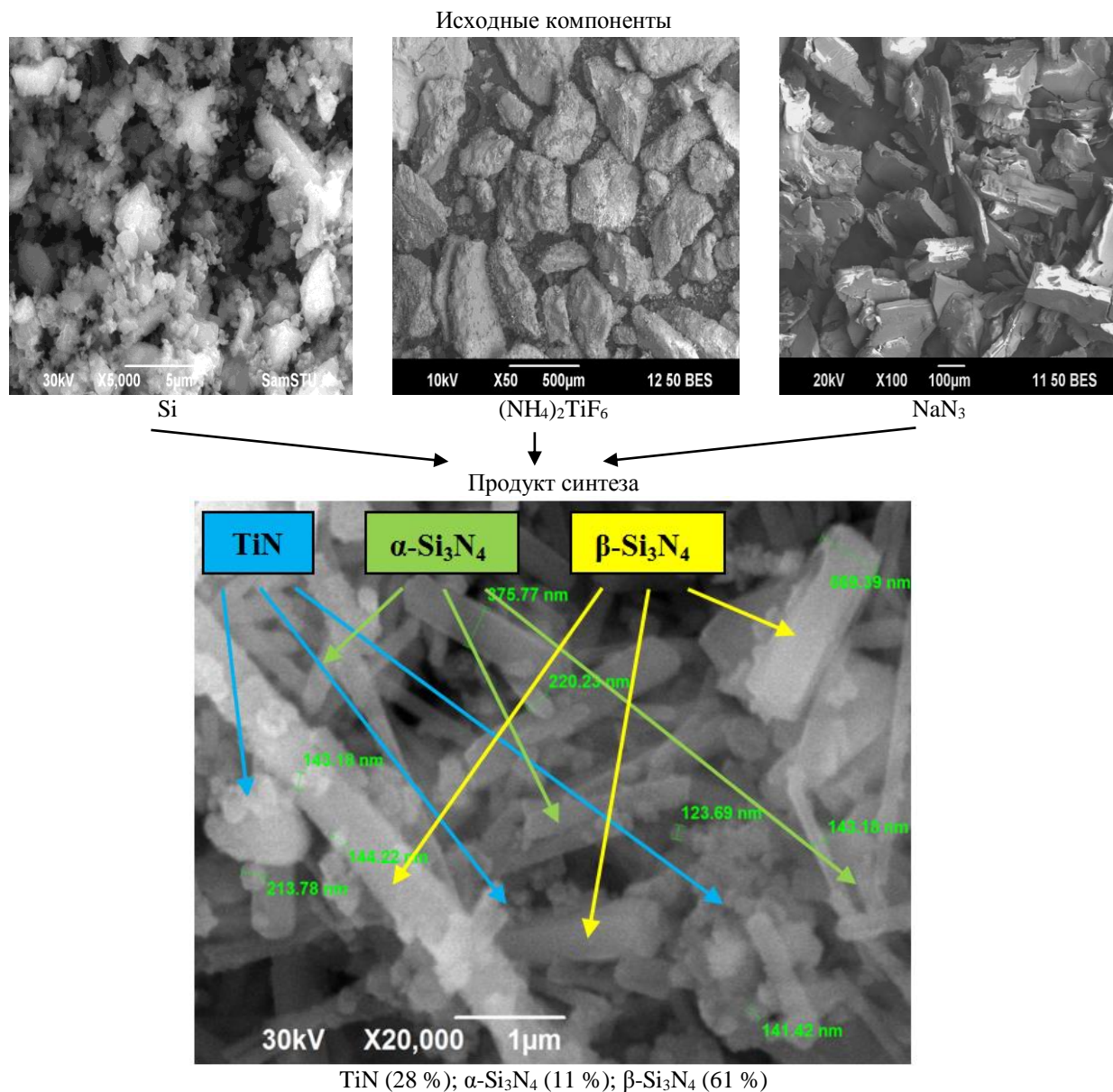
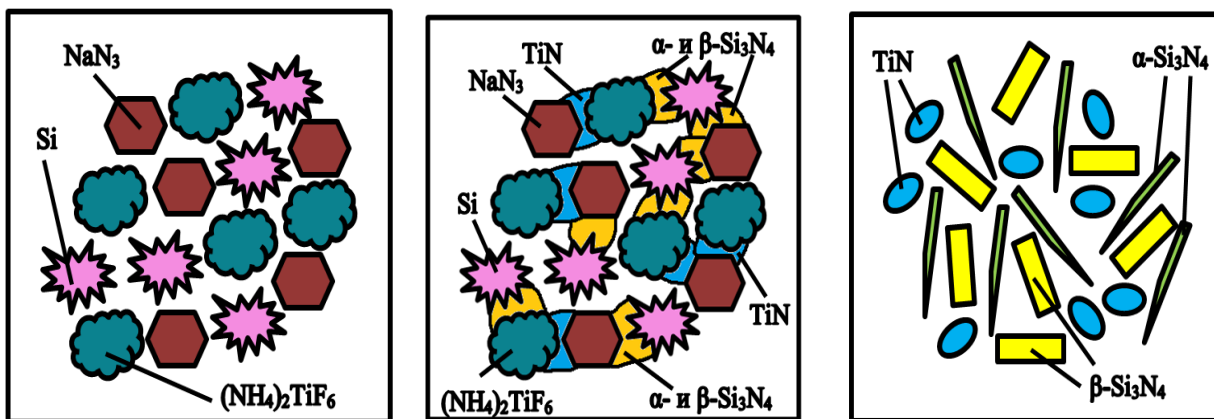


Рис. 2 - Схема изменения морфологии частиц исходных компонентов системы «9Si + (NH₄)₂TiF₆ + 6NaN₃» при получении композиции Si₃N₄-TiN

После сгорания в волне СВЧ исходной шихты «9Si + (NH₄)₂TiF₆ + 6NaN₃» конечный продукт представлял собой чистую, без побочных примесей, смесь нитридов: TiN (28 %), α -Si₃N₄ (11 %), β -Si₃N₄ (61 %), которую можно квалифицировать как наноструктурный композитный порошок Si₃N₄-TiN, состоящий из субмикроструктурных столбчатых кристаллов нитрида кремния β -Si₃N₄ с поперечным размером 200-300 нм, нанокристаллических волокон нитрида кремния α -Si₃N₄ с поперечным размером 100-120 нм и нанокристаллических равноосных частиц нитрида титана TiN с размером 100-120 нм [7, С.11-21], [8, С. 130-135; 9, С. 45-47; 10, С. 56-59].



1. Смесь исходных компонентов: кремний Si, гексафтортитанат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, азид натрия NaN_3

2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в системе « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ »

3. Продукты синтеза – нитриды: TiN , $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ и $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$

Рис. 3 - Структурообразование композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ из системы « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ »

Таким образом, в работе была построена химическая стадийность получения композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ без побочных продуктов из системы « $9\text{Si} + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 + 6\text{NaN}_3$ » в режиме СВС-Аз. Для установления химической стадийности была проведена остановка фронта горения с помощью закалки. Закалка образцов позволила установить, что образование конечных продуктов происходит благодаря большому количеству параллельных и последовательных химических реакций взаимодействия исходных и промежуточных компонентов между собой в процессе СВС-реакции. Установлено, что конечный продукт представлял собой наноструктурный композитный порошок «нитрид кремния – нитрид титана», состоящий из субмикрористаллических равноосных, сферических и волокнистых частиц среднего размера 200-300 нм с отдельными нано- и микрочастицами средний размер которых составляет 100-120 нм.

Список литературы / References

- Ойстрах К.И. Исследование влияния соотношения компонентов в системе на состав и морфологию синтезированного композиционного порошка на основе Si_3N_4 и TiN / К.И. Ойстрах, Л.А. Шиганова (Л.А. Кондратьева) // Материалы Всероссийской научно-технической интернет-конференции с международным участием «Высокие технологии в машиностроении». - 2013. - С. 114-116.
- Керсон И.А. Исследования горения систем для синтеза нитридной композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ / И.А. Керсон, Л.А. Кондратьева // Научно-технический журнал «Современные материалы, техника и технологии». - 2016. - № 3(6). - С. 27-31.
- Kondratieva L.A. Investigation of possibility to fabricate $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ ceramic nanocomposite powder by azide SHS method / L.A. Kondratieva, I.A. Kerson, A.Yu. Illarionov, A.P. Amosov and G.V. Bichurov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 156 (2016) - P. 1-6.
- Кондратьева Л.А. Исследование возможности получения микро- и нанопорошка нитридной композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ в системе «галогенид кремния – азид натрия - галогенид титана» по азидной технологии СВС / Л.А. Кондратьева, И.А. Керсон, Г.В. Бичуров, А.П. Амосов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. - 2016. - № 4(52). - С. 130-138.
- Кондратьева Л.А. Химическая стадийность образования нитридной композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ в режиме СВС-Аз / Л.А. Кондратьева, И.А. Керсон, Г.В. Бичуров // Международный научно-исследовательский журнал «Успехи современной науки и образования». - 2016. - Т.3. - №8 - С. 76-77.
- Шиганова Л.А. (Кондратьева Л.А.) Механизм образования наноструктурированного порошка нитрида титана в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе «гексафтортитанат аммония-азид натрия» / Л.А. Шиганова (Л.А. Кондратьева), Ю.В. Титова, А.П. Амосов, Г.В. Бичуров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2009. - Т.2. - №3. - С. 111-116.
- Amosov A.P. Nitride Nanopowders by Azide SHS Technology / A.P. Amosov, G.V. Bichurov, L.A. Kondrat'eva and I.A. Kerson // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. - 2017. - Vol. 26. - №1 - P. 11-21.
- Кондратьева Л.А. Химическая стадийность образования нитридных композиций $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-BN}$ и $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$ в режиме СВС-Аз / Л.А. Кондратьева, Г.В. Бичуров // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. - 2016. - №3 (51) - С. 130-135.
- Керсон И.А. Исследование процесса получения нитридной композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, при различном соотношении исходных компонентов / И.А. Керсон, Л.А. Кондратьева // Сборник научных трудов международной научно-практической заочной конференции «Современное научное знание: теория, методология, практика». - 2015. - С. 45-47.
- Керсон И.А. Исследование качества нитридной композиции $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, полученной по азидной технологии СВС / И.А. Керсон, Л.А. Кондратьева // Международный научный журнал «Инновационная наука». - 2016. - №1/2016. - С. 56-59.

Список литературы на английском языке / References in English

- Ойстрах К.И. Issledovanie vlijaniya sootnosheniya komponentov v sisteme na sostav i morfologiju sintezirovannogo kompozicionnogo poroshka na osnove Si_3N_4 i TiN [Research vlijaniya sootnosheniya komponentov v sostav systems and morphology sintezirovannogo kompozicionnogo poroshka on the foundations of Si_3N_4 and TiN] / K.I. Oistrakh, L.A. Shiganova (L.A. Kondrat'eva) // Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy internet-konferencii s mezhdunarodnym

uchastiem «Vysokie tehnologii v mashinostroenii» [Materials of all-Russian scientific and technical Internet-conference with international participation «High technologies in mechanical engineering»]. - 2013.- P. 114-116. [in Russian]

2. Керсон И.А. Issledovaniya gorenija sistem dlja sinteza nitridnoj kompozicii $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ [Study of combustion systems for the synthesis of nitride of the composition $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$] / I.A. Kerson, L.A. Kondrat'eva // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii» [Scientific-technical journal «Modern materials, equipment and technologies»]. - 2016. - №3(6). - P. 27-31. [in Russian]

3. Kondratieva L.A. Investigation of possiblssty to fabricate $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ ceramic nanocomposite powder by azide SHS method / L.A. Kondrat'eva, I.A. Kerson, A.Yu. Illarionov, A.P. Amosov and G.V. Bichurov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 156 (2016) - P. 1-6. [in Russian]

4. Kondrat'eva L.A. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya mikro- i nanoporoshka nitridnoj kompozicii $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ v sisteme «galogenid kremnija – azid natrija - galogenid titana» po azidnoj tehnologii SVS [Study the possibility of obtaining micro - and nanopowder nitride composition $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ in «silicon halide – sodium azide - halide titanium» asidney technology SVS] / L.A. Kondrat'eva, I.A. Kerson, G.V. Bichurov, A.P. Amosov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya Tehnicheskie nauki [Vestnik of Samara state technical University. Series Technical Sciences]. - 2016. - № 4(52). - P.130-138. [in Russian]

5. Kondrat'eva L.A. Himicheskaja stadijnost' obrazovaniya nitridnoj kompozicii $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ v rezhime SVS-Az [Chemical stages of formation of nitride of the composition $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ in a mode SHS-AZ] / L.A. Kondrat'eva, I.A. Kerson, G.V. Bichurov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal «Uspehi sovremennoj nauki i obrazovaniya» [International research journal «Advances in modern science and education»]. – 2016. - Vol.3.- № 8.- P. 76-77. [in Russian]

6. Shiganova L.A. (Kondrat'eva L.A.) Mehanizm obrazovaniya nanostrukturirovannogo poroshka nitrida titana v rezhime samorasprostranjajushhegosja vysokotemperaturnogo sinteza v sisteme «geksaftortitanat ammonija-azid natrija» [The mechanism of formation of nanostructured titanium nitride powder in the mode of self-propagating high-temperature synthesis in the system «hexaferites ammonium - sodium azide»] / L.A. Shiganova (L.A. Kondrat'eva), J.V. Titova, A.P. Amosov, G.V. Bichurov // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences]. – 2009. - Vol.2. - №3. - C. 111-116. [in Russian]

7. Amosov A.P. Nitride Nanopowders byAzide SHS Technology / A.P. Amosov, G.V. Bichurov, L.A. Kondrat'eva and I.A.Kerson // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 2017. - Vol. 26. - №1 - P. 11-21. [in Russian]

8. Kondrat'eva L.A., Bichurov G.V. Himicheskaja stadijnost' obrazovaniya nitridnyh kompozicij $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-BN}$ i $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$ v rezhime SVS-Az [Chemical stages of formation of nitride compositions of $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-BN}$ и $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$ in a mode SHS-AZ] / L.A. Kondrat'eva, G.V. Bichurov G.V. // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya Tehnicheskie nauki [Vestnik of Samara state technical University. Series Technical Sciences]. - 2016. - № 3 (51) - P. 130-135. [in Russian]

9. Kerson I.A. Issledovanie processa polucheniya nitridnoj kompozicii $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ pri razlichnom sootnoshenii ishodnyh komponentov [A study of the process of obtaining nitride composition $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, with different ratio of initial components] / I.A. Kerson, L.A. Kondrat'eva // Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy zaochnoj konferencii «Sovremennoe nauchnoe znanie: teorija, metodologija, praktika» [Collection of scientific works of international scientific-practical conference «Modern scientific knowledge: theory, methodology, practice»]. - 2015. - C. 45-47. [in Russian]

10. Kerson I.A. Issledovanie kachestva nitridnoj kompozicii $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, poluchЕННОj po azidnoj tehnologii SVS [Study of the quality of the nitride of the composition $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$, obtained by asidney technology SVS] / I.A. Kerson, L.A. Kondrat'eva // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Innovacionnaja nauka» [International scientific journal «Innovative science»]. – 2016. - №1/2016. - C. 56-59. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.012>

Мамонова Т.Е.

ORCID: 0000-0002-8315-5424, Кандидат технических наук,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-38-00010 мол. а.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ПРИ ЕГО РАСПОЛОЖЕНИИ НА ТОРЦЕВОЙ СТЕНКЕ ТРУБЫ**Аннотация**

Приведена математическая модель взаимодействия трубопровода перекачки жидкости и датчика давления при его расположении на торцевой стенке трубы. Выполнена проверка адекватности приведённой математической модели «датчик давления – трубопровод». При этом использовался метод полного факторного эксперимента. Указано ранжирование параметров датчиков давления в зависимости от контактируемой среды. Исследовано влияние параметров транспортируемой жидкости и датчика давления на изменение прогиба чувствительного элемента рассматриваемого прибора с использованием уравнений регрессии. Исследование показало, что при выборе датчиков давления необходимо учитывать такие параметры датчика, как коэффициент Пуассона и толщина чувствительно элемента. Также установлено, что наибольшее влияние на прогиб чувствительного элемента датчика оказывает плотность перекачиваемой жидкости.

Ключевые слова: математическая модель, датчик давления, трубопровод, полный факторный эксперимент, адекватность модели.

Mamonova T.E.

ORCID: 0000-0002-8315-5424, PhD in Engineering,

National Research Tomsk Polytechnic University

The work was carried out within the framework of the Russian Foundation for Basic Research grant

No.16-38-00010 mol. a.

STUDY OF THE BEND OF THE SENSITIVE ELEMENTS OF THE PRESSURE SENSOR AT ITS LOCATION ON THE END WALL OF THE PIPE**Abstract**

A mathematical model of the interaction between the liquid transporting pipeline and the pressure sensor is given for its location on the end wall of the pipe. The adequacy of the mathematical model “pressure sensor-pipeline” is checked. A full factorial experiment was used. The ranking of the pressure sensor parameters is shown depending on the medium to be contacted. The effect of the parameters of the fluid being transported and the pressure sensor on the change in the deflection of the sensing element of the device under consideration was investigated with the help of regression equations. The study showed that when selecting pressure sensors, it is necessary to take into account such parameters of the sensor as the Poisson ratio and the density of the sensitive element. It was also found that the density of the pumped liquid has the greatest influence on the deflection of the sensing element of the sensor.

Keywords: mathematical model, pressure sensor, pipeline, full factor experiment, model adequacy.

Введение

В настоящее время каждое предприятие при разработке технологических процессов применяет различные виды датчиков, средства измерения, потому что только с ними можно в полной мере получить автоматизированное производство. Частным случаем таких производств являются нефтеперерабатывающие и нефтедобывающие производства. При проектировании таких производств большое внимание уделяется выбору датчиков с целью получения достоверных и точных данных и продления их срока службы, что напрямую связано с надежностью конструкций и агрегатов трубы.

Давление наряду с такими параметрами как температура перекачиваемой жидкости, её расход и скорость является крайне важным параметром систем контроля и управления. Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент является приемником давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий и устройства вывода информационного сигнала. При проектировании важно учитывать влияние среды в трубопроводе на динамику чувствительного элемента, так как это позволит обеспечить не только необходимую точность, но и повысит надежность конструкции «датчик давления – трубопровод» и как следствие надежность системы в целом.

Таким образом, задача по получению и исследованию адекватной математической модели, связывающей динамику чувствительного элемента датчика давления и давление в трубопроводе, в настоящее время является актуальной.

Получением математической модели, позволяющей исследовать характер течения жидкости в трубе и влияние данного характера на датчики, ранее проводились в работах [1, С. 48], [2, С. 36], [3, С. 75], [4, С. 15] и [5, С. 67]

Ранее в работе [6, С. 285] автором была получена математическая модель «датчик давления – трубопровод» для случая, когда датчик расположен на торцевой стенке трубопровода (рис. 1), которая имеет вид:

$$\left(\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} - \frac{x_0 \rho}{\pi} + \rho_m p \right) \beta \omega + \frac{Eh}{1-\mu^2} \omega = P_0(y) \cos\left(\frac{\pi}{y_0}\right) - \frac{3}{y_0} P^*(y), \quad (1)$$

где ω – прогиб чувствительного элемента датчика, м; P_0 – распределенная внешняя нагрузка, действующая на упругий элемент, Па; y_0 – диаметр трубопровода, м; x_0 – длина трубопровода, м; ρ_m – плотность мембраны, кг/м³; E – модуль Юнга, Па; h – толщина мембраны, μ – коэффициент Пуассона (отношение относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению), β – коэффициент демпфирования.

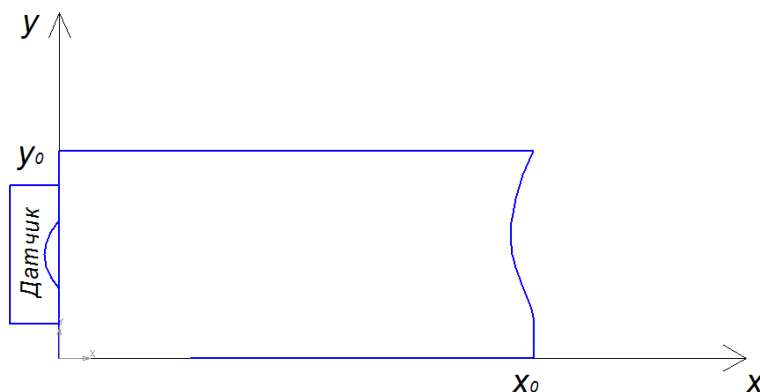


Рис. 1 – Схема расположения датчика на трубопроводе

Математическая модель (1) связывает закон изменения давления рабочей среды в трубопроводе и прогиб упругого элемента датчика давления.

Было установлено, что изготовители датчиков давления в зависимости от контактируемой среды конструируют датчики с различными параметрами. Наиболее распространённые взяты из [7] и [8] и представлены ниже:

1) толщина чувствительного элемента датчиков составляет: 0,2 – 1,6 мм;

2) материал чувствительных элементов различен по плотности:

- (7400 ÷ 7800) кг/м³ – для пьезокерамических элементов;
- (7700 ÷ 8100) кг/м³ – для элементов из нержавеющей стали;
- (2330 ÷ 3050) кг/м³ – для элементов из монокристаллического кремния;

3) модуль упругости элементов (модуль Юнга):

- (78 ÷ 190) ГПа (для пьезокерамических элементов);
- (193 ÷ 200) ГПа (для элементов из нержавеющей стали);
- (109 ÷ 131) ГПа (для элементов из монокристаллического кремния);

4) коэффициент Пуассона зависит не от размеров тела, а от природы материала:

- (0,29 ÷ 0,35) – для пьезокерамических элементов;
- (0,27 ÷ 0,30) – для элементов из нержавеющей стали;
- 0,266 – для элементов из монокристаллического кремния.

5) плотность нефти зависит от температуры, поддерживаемой в трубопроводе и от месторождений добычи ископаемого, и колеблется в диапазоне (730 ÷ 1040) кг/м³.

Таким образом, на изменение прогиба чувствительного элемента ω датчиков давления влияет большое количество параметров.

В табл. 1 приведены параметры датчика, трубопровода и нефти. Параметры чувствительного элемента датчика давления взяты из [7], [8], [9] и соответствуют параметрам наиболее применимых датчиков в нефтегазопромышленности. При этом установлено, что материалом чувствительного элемента датчика (мембраны) служит нержавеющая сталь 316L. Толщина мембраны взята как среднее значение по всей её длине.

Таблица 1 – Параметры чувствительного элемента датчика давления, трубопровода и нефти

Название параметра	Значение параметра	Название параметра	Значение параметра
Коэффициент Пуассона, μ	0,27	Толщина мембраны, h_m	0,0012
Модуль Юнга, E (ГПа)	200	Коэффициент демпфирования, β	0,3
Плотность мембраны, ρ_m кг/м ³	8000	Диаметр трубопровода, y_0	0,5
Длина трубопровода, x_0	100	Плотность нефти, ρ кг/м ³	800

В данной работе выполнен эксперимент для выявления влияния параметров датчика и перекачиваемой жидкости на прогиб чувствительного элемента датчика давления. Исследуемые параметры:

- коэффициент Пуассона μ ;
- толщина чувствительного элемента h ;

- плотность нефти ρ .

Диапазон значений параметров мембраны равен диапазону возможных значений для материалов чувствительного элемента. Плотность нефти изменяется в диапазоне в зависимости от месторождений мира [10].

Влияние вариации параметров были выявлены при использовании полного факторного эксперимента, изложенного в работах [11, С. 6], [12], [13].

В табл. 2 представлены расчетные данные проведения полного факторного эксперимента.

Таблица 2 – Расчётные формулы

Формула	Название
$N = p^k$,	число опытов $p = 2$ – число уровней факторов, $k = 3$ – число факторов. $N = 8$
$x_j = \frac{x_{jn} - x_{j0}}{a_j}$,	Переход от натуральных чисел к кодированным значениям, a_j – интервал варьирования, x_{j0} – натуральное значение основного уровня. $x_j = \pm 1$
$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{N}$,	Значение коэффициентов регрессии x_{ji} – кодированные значения фактора x_j в i -м опыте.

В табл. 3 приведены результаты полного факторного эксперимента для трех выбранных факторов, а также их закодированные значения.

Таблица 3 – Результаты полного факторного эксперимента для трех факторов

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе			Закодированные факторы								Выход-ной пара-метр, 10^{-3}
	μ	h	ρ	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	ω
1	0,26	0,0004	730	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	11,863
2	0,35	0,0004	730	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	11,167
3	0,26	0,0016	730	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	2,774
4	0,35	0,0016	730	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	2,477
5	0,26	0,0004	1040	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	11,824
6	0,35	0,0004	1040	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	10,091
7	0,26	0,0016	1040	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	2,939
8	0,35	0,0016	1040	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	2,512

Уравнение регрессии для трехфакторного эксперимента имеет общий вид:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (1)$$

где b_j – коэффициенты регрессии ($j = (0 \div 3)$).

Значение коэффициентов регрессии определяются по следующим формулам:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{N}, b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i y_i}{N}, b_{13} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_3)_i y_i}{N},$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_2 x_3)_i y_i}{N}, b_{123} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_2 x_3)_i y_i}{N}, \quad (2)$$

где x_{ji} – кодированные значения фактора x_j в i -м опыте.

В результате обработки данных с помощью программного пакета MathCAD была получена модель зависимости прогиба чувствительного элемента датчика давления от взятых параметров в виде уравнения регрессии:

$$\omega = 6,956 \cdot 10^{-3} - 3,942 \cdot 10^{-3} \cdot \mu - 4,280 \cdot 10^{-3} \cdot h - 1,144 \cdot 10^{-4} \cdot \rho +$$

$$+ 2,131 \cdot 10^{-4} \cdot \mu \cdot h - 1,459 \cdot 10^{-4} \cdot \mu \cdot \rho + 1,644 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot \rho + 1,113 \cdot 10^{-4} \cdot \mu \cdot h \cdot \rho \quad (3)$$

Для проверки модели (1) на адекватность был применён критерий Фишера, в соответствии с которым:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_m, \quad (4)$$

где S_{ad}^2 – дисперсия адекватности, F_m – табличное значение по критерию Фишера, S_y^2 – дисперсия параметра оптимизации.

Дисперсия адекватности [12]:

$$S_{ad}^2 = \frac{n \sum_{i=1}^8 (y_i - \bar{y})^2}{f}, \quad (5)$$

где $f = N - (k + 1)$ – число степеней свободы, k – число факторов.

Дисперсия параметра оптимизации [12]:

$$S_y^2 = S^2(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^8 (y_i - \bar{y})^2}{N - 1}. \quad (6)$$

С учетом численных значений и табличным данным, взятым из [13] получаем $\frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = 1,38 < 6,04$. Следовательно,

модель (1) адекватна.

На основании полученной модели (2) в пакете MatLab построены поверхности изменения прогиба чувствительного элемента датчика ω от изменения коэффициент Пуассона μ , толщины чувствительного элемента h и плотности нефти ρ (рис. 2).

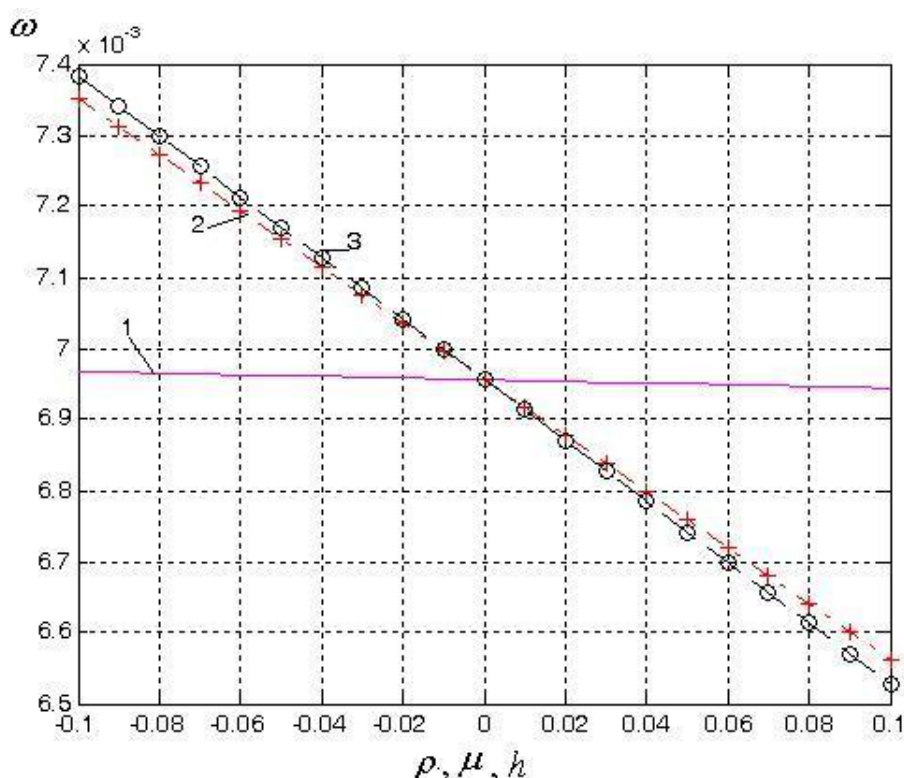


Рис. 2 – Прогиб чувствительного элемента датчика ω при

1 – $\mu = 0$, $h = 0$, $\rho = \text{var}$; 2 – $\mu = \text{var}$, $h = 0$, $\rho = 0$;

3 – $\mu = 0$, $h = \text{var}$, $\rho = 0$

Таким образом, на прогиб чувствительного элемента датчика давления при его расположении на торцевой стороне трубы оказывают влияние все рассматриваемые параметры, т.е. плотность ρ жидкости, коэффициент Пуассона μ и толщины чувствительного элемента h датчика, однако по представленным графикам выявлено, что наибольшее воздействие производит плотность жидкости ρ .

Вывод

Выполненный полный факторный эксперимент доказал, что математическая модель «датчик давления – трубопровод» для случая, когда датчик расположен на торцевой стенке трубопровода, описывающая закон изменения давления рабочей среды в трубопроводе и прогиб упругого элемента датчика давления, может использоваться в расчетах, так как данная модель является адекватной. Проведенное исследование выявило, что при проектировании трубопровода и подбора измерительной аппаратуры необходимо учитывать не только параметры датчиков, но и диапазон изменения плотности перекачиваемой по трубопроводу жидкости.

Список литературы / References

1. Крайнова Л. Н. Пространственные нелинейные колебания трубопровода при гармоническом возбуждении / Л. Н. Крайнова, А. И. Муницын // Машиностроение и инженерное образование. – 2010. – № 2. – С. 46–51.

2. Зарипов Д. М. Математическое моделирование динамики трубопровода под действием волн давления в транспортируемой жидкости: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18: защищена 12.11.06: утв. 10.07.07/ Д. М. Зарипов/ – Sterlitamak. 2006. – 109 с.
3. Смирнов Л. В., Овчинников В. Ф., Силантьева В. М. Динамика трубопровода при гидравлическом ударе в потоке транспортируемой жидкости / Л. В. Смирнов, В. Ф. Овчинников, В. М. Силантьева // Проблемы прочности и пластичности. – 2010. – № 72. – С. 73–79.
4. Покладова Ю. В. Математическое моделирование системы «трубопровод - датчик давления»: автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18/ Ю. В. Покладова – Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск. 2008. – 109 с.
5. Покладова Ю. В. Математическое моделирование динамики упругого элемента датчика давления в трубопроводе конечной длины / Ю. В. Покладова, Ю. А. Решетников // Прикладная математика и механика: Сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – С.114-120.
6. Мамонова Т. Е., Овчаров А. Э. Математическая модель системы «датчик – трубопровод» при расположении датчика на торцевой стенке трубы/ Т. Е. Мамонова // Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск: Томский политехнический университет. – 2016. С. 284–285.
7. Пьезоэлектрические свойства пьезокерамики. [Электронный ресурс]. – URL: <http://symmetron.ru/suppliers/apc/> (Дата обращения: 10.08.2017 г.)
8. Плотность нержавеющей стали. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.m.-k.k.ru/plotnost-nerzhaveyuschey-stali/> (Дата обращения: 09.08.2017 г.)
9. Тиняков Ю. Н., Милешин С. А., Андреев К. А. Анализ конструкций зарубежных прототипов датчиков давления/ Ю. Н. Тиняков // Наука и образование. – 2011. С. 1–13. [Электронный ресурс]. – URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/219081.html> (Дата обращения: 08.08.2017 г.)
10. Плотность нефти. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B8. (дата обращения: 08.08.2017 г.)
11. Кузнецова Е. В. Математическое планирование эксперимента: учебно-методическое пособие для студентов очного и заочного обучения специальностей «Технология обработки металлов давлением», «Динамика и прочность машин», «Компьютерная механика», «Компьютерная биомеханика» / Е. В. Кузнецова/ – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. – 35 с.
12. Применение полного факторного эксперимента. [Электронный ресурс]. – URL: <http://textarchive.ru/c-1513574.html> (Дата обращения: 18.08.2017 г.)
13. Коэффициент Фишера. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.studfiles.ru/preview/5856922/page:5/> (Дата обращения: 08.08.2017 г.)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kraynova L. N. Prostranstvennye nelineynye kolebaniya truboprovoda pri garmonicheskom vozvuzhdenii [Spatial nonlinear fluctuations of the pipeline at harmonious excitement] / L. N. Kraynova, A. I. Municin // Mashinostroenie i ingenernoe obrazovanie [Mechanical engineering and engineering education]. – 2010. – № 2. – P. 46–51. [in Russian]
2. Zaripov D. M. Matematicheskoe modelirovanie dinamiki truboprovoda pod deystviem voln davleniya v transportiruемой zhidkosti [Mathematical modeling of the pipeline dynamics under the influence of pressure waves in the transported liquid]: dis. ... of PhD of physical and mathematical sciences: 05.13.18: defense of the thesis 12.11.06: approved 10.07.07/ D. M. Zaripov – Sterlitamak. 2006. – 109 p. [in Russian]
3. Smirnov L. V., Ovchinnikov V. F., Silantyeva V. M. Dinamika truboprovoda pri gidravlicheskom udare v potoke transportiruемой zhidkosti [Dynamics of the pipeline at water hammer in a stream of the transported liquid] / L. V. Smirnov, V. F. Ovchinnikov, V. M. Silantyeva // Problemi pochnosti i plastichnosti [Durability and plasticity problems] – 2010. – № 72. – P. 73–79. [in Russian]
4. Pokladova Yu. V. Matematicheskoye modelirovaniye sistemi «truboprovod – datchik davleniya» [Mathematical modeling of "the pipeline-pressure sensor" system]: abstract of dis. ... of PhD of physical and mathematical sciences: 05.13.18/ Yu. V. Pokladova/– Ulyanovskiy gosudarstvenniy tehnikeskiiy universitet [Ulyanovsk state technical university]. – Ulyanovsk. 2008. – 109 p. [in Russian]
5. Pokladova Yu. V. Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki uprugogo elementa datchika davleniya v truboprovode konechnoy dlini [Mathematical modeling of dynamics of an elastic element of the pressure sensor in the pipeline of final length] / Pokladova Yu. V., Yu. A. Reshetnikov // Prikladnaya matematika i mehanika: Sbornik nauchnih trudov [Applied mathematics and mechanics: Collection of scientific works] – Ulyanovsk: UIGTU, 2004. – P.114-120. [in Russian]
6. Mamonova T. E., Ovcharov A. E. Matematicheskaya model sistemi «datchik – truboprovod» pri raspolozhenii datchika na torcevoy stenke trubi [The mathematical model «the sensor-the pipeline» systems at a sensor arrangement on a face wall of a pipe] / T. E. Mamonova // Sbornik trudov XIII Mazhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodih uchyonih «Molodyozh I sovremennye informacionnye tehnologii» [Collection of works XIII of the International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists "Youth and modern information technologies"] – Tomsk: Tomskiy politehnicheskiiy universitet [Tomsk Polytechnic University]. – 2016. P. 284–285. [in Russian]
7. Pyeoelektricheskie svoystva pyezokeramiki. [Piezoelectric properties of a pyezokeramika] [Electronic resource]. – URL: <http://symmetron.ru/suppliers/apc/> (accessed: 10.08.2017 г.) [in Russian]
8. Plotnosty nerzhaveyuschey stali [Density of stainless steel] [Electronic resource]. – URL: <http://www.m.-k.k.ru/plotnost-nerzhaveyuschey-stali/> (accessed: 09.08.2017 г.) [in Russian]

9. Tinyakov Yu. N., Milesin S. A., Andreev K. A. Analiz konstrukciy zarubezhnih prototipov datchikov davleniya [Analysis of foreign prototypes designs of pressure sensors] / Yu. N. Tinyakov // Nauka i obrazovaniye [Science and education] – 2011. С. 1– 13. [Electronic resource]. – URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/219081.html> (accessed: 08.08.2017 г.) [in Russian]
10. Plotnosty nefti [Oil density] [Electronic resource]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B8. (accessed: 08.08.2017 г.) [in Russian]
11. Kuznecova E. V. Matematicheskoe planirovaniye eksperimenta: uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov ochnogo i zaочноgo obucheniya specialnostey «Tehnologiya obrabotki metallov davleniem», «Dinamika i prochnost mashin», «Kompiuternaya mehanika», «Kompiuternaya biomehanika» [Mathematical planning of an experiment: an educational and methodical grant for students of a resident and correspondence course of specialties "Technology of Processing of Metals Pressure", "Dynamics and Durability of Cars", "Computer Mechanics", "Computer Biomechanics"] / E. V. Kuznecova/ – Perm: Perm. gos. tehn. un-t, 2011. – 35 с. [in Russian]
12. Primeneniye polnogo faktornogo eksperimenta [Application of a complete factorial experiment]. [Electronic resource]. – URL: <http://textarchive.ru/c-1513574.html> (accessed: 18.08.2017 г.) [in Russian]
13. Koefficient Fishera [Fischer's coefficient] [Electronic resource]. – URL: <http://www.studfiles.ru/preview/5856922/page:5/> (accessed: 08.08.2017 г.) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.062>

Надточий Л.А.¹, Истомин А.И.², Мельчаков Р.М.³, Мурадова М.Б.⁴, Жаворонкова А.С.⁵

¹ORCID: 0000-0002-4678-8177, Кандидат технических наук, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО),

²ORCID: 0000-0003-0394-5280, Магистр экономических наук, ООО «Новые биотехнологии», г. Липецк, Россия;

³ORCID: 0000-0002-0642-3325, Бакалавр, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург, Россия;

⁴ORCID: 0000-0002-3415-5428, Бакалавр, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург, Россия;

⁵ORCID: 0000-0001-7363-2875, Бакалавр, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург, Россия.

ОЦЕНКА ВЫСОКОБЕЛКОВОГО ПРЕПАРАТА «ЗООПРОТЕИН» В КАЧЕСТВЕ КОРМА ДЛЯ КОШЕК

Аннотация

В настоящее время актуальным является изыскание перспективных сырьевых ингредиентов для кормопроизводства. В данной статье высокобелковый препарат «Зоопротейн» оценивается как сухой корм для кошек в период их роста. Доказано, что 100г данного корма обеспечивает суточную потребность животного в питательных веществах и энергии. В частности, за счет употребления 100г «Зоопротейна» кошка в период роста в полном объеме удовлетворяет потребность в белках, жирах и энергии, а также перекрывает суточную потребность в клетчатке, кальции и фосфоре. На основании изученных показателей оценки «Зоопротейн» может быть рекомендован как высококачественный компонент в составе корма для кошек в период их роста.

Ключевые слова: питательные вещества, энергетическая ценность, обменная энергия, аминокислотный состав, кошки в период роста.

Nadtochiy L.A.¹, Istomin A.I.², Melchakov R.M.³, Muradova M.B.⁴, Zhavoronkova A.S.⁵

¹ORCID: 0000-0002-4678-8177, PhD in Engineering, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia;

²ORCID: 0000-0003-0394-5280, Master in Economics, ООО «New Biotechnologies», Lipetsk, Russia;

³ORCID: 0000-0002-0642-3325, Bachelor, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia;

⁴ORCID: 0000-0002-3415-5428, Bachelor, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia;

⁵ORCID: 0000-0001-7363-2875, Bachelor, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia.

ESTIMATION OF HIGH-PROTEIN PREPARATION “ZOOPROTEIN” AS FEED FOR CATS

Abstract

At present, it is urgent to find promising raw ingredients for fodder production. In this article, high-protein preparation “Zooprotein” is evaluated as dry food for cats used during their growth. It is proved that 100 g of this feed satisfies the daily requirement of the animal in nutrients and energy. The use of 100 g of “Zooprotein” when feeding cats during the growth period fully meets their need for protein, fat and energy and also covers their daily need for fiber, calcium and phosphorus. Based on the evaluation indices studied, “Zooprotein” can be recommended as a high-quality component in the composition of cat food during their growth.

Key words: nutrients, energy value, exchange energy, amino acid composition, cats during growth.

Сбалансированное кормление имеет значимую роль в жизнеобеспечении животных и способности противостоять некоторым заболеваниям. В настоящее время кормление домашних животных является строго организованным, контролируемым и регулируемым человеком процесс. Однако, для научно обоснованного проектирования кормов крайне важны знания о питательных веществах и их биологической полноценности.

Благодаря нормированному употреблению питательных веществ в кормах осуществляется ряд функций в организме животного. Наибольший интерес для разработчиков кормов представляют энергетически ценные макро-нутриенты, а именно белки, жиры и углеводы, которые и обеспечивают качественную составляющую готового корма. В большей степени качество корма связано с содержанием основных питательных веществ в кормах, которое должно быть строго сбалансировано и составлять от 50 до 80% в пересчете на сухое вещество корма. Как известно, белкам отводится первостепенная роль при проектировании рационов кормления большинства животных, в промышленных кормах содержание сырого протеина нормируется в количестве до 50 % от сухого вещества корма [1].

На современном этапе кормопроизводство нацелено на интенсивную продуктивность кормов с высокой степенью их использования согласно нормам кормления животных различных видов [2]. Широко используемыми в кормопроизводстве на сегодняшний день являются вторичные сырьевые ингредиенты животного происхождения: молочная сыворотка, пахта, мясная, костная, кровяная и рыбная мука и пр. Однако потребность различных видов животных в тех или иных белковых компонентах может существенно различаться в зависимости от качества сырьевых компонентов. В связи с этим актуальное значение приобретает изыскание перспективных высококачественных белковых ингредиентов для кормопроизводства [3, 4].

В Университете ИТМО на кафедре прикладной биотехнологии на протяжении ряда лет ведутся исследования по разработке научно-обоснованных рецептур и технологий кормов для различных видов домашних животных с учетом их потребности в питательных веществах и пр. [5].

Настоящее исследование ведется в сотрудничестве с ООО «Новые Биотехнологии» (г. Липецк), которое специализируется на производстве высокобелкового препарата из высушенных личинок мух вида *Lucilia Caesar*. Высокобелковый препарат под коммерческим названием «Зоопротеин» отличается повышенным содержанием питательных веществ: 48,33% сырого протеина, 29,64% сырого жира, 5,97% сырой клетчатки, 7,28% сырой золы, а также 1,74% кальция и 1,79% фосфора на 100г продукта. Это позволяет рассматривать «Зоопротеин» как перспективный сырьевой ингредиент для кормопроизводства, что подтверждается данными его аминокислотного состава (табл. 1).

Таблица 1 – Аминокислотный состав «Зоопротеина»

Аминокислоты	Содержание, %
Аспарагиновая кислота	4,78
Глутаминовая кислота	6,76
Лизин	3,70
Триптофан	0,18
Валин	2,74
Метионин	1,24
Лейцин + изолейцин	4,34
Треонин	2,04
Фенилаланин	3,48
Аланин	3,03
Гистидин	1,79
Аргинин	2,79
Тирозин	2,89
Серин	2,06
Пролин	2,30
Глицин	2,41
Цистин	0,47

В настоящем исследовании рассматривается возможность употребления высокобелкового препарата «Зоопротеин» в качестве сырьевого ингредиента при разработке кормов для кошек с использованием приемов пищевой комбинаторики. Данная целевая группа животных выбрана по причине того, что кошки являются наиболее требовательными животными к количественным характеристикам белка. Специфические отличия в кормлении кошек обусловлены особенностями физиологического, анатомического, метаболического характера. Например, рациону кошек свойственна повышенная потребность в качественных и количественных составляющих белка по сравнению с рационами собак. В частности, как в период роста, так и во взрослом состоянии кошкам требуется на 50% больше белка по сравнению с собаками. Помимо этого, у кошек отмечается специфическая потребность в некоторых аминокислотах, например, в аргинине [6], [7]. В связи с этим ежедневный рацион кошек должен содержать много тканей животных, которые имеют в составе достаточно высокое содержание белка, включающего аргинин и другие аминокислоты. Таким образом, исследуемый сырьевой ресурс «Зоопротеин» аргументированно рассматривается как высокобелковый препарат с наличием спектра необходимых аминокислот.

Рассмотрим «Зоопротеин» в качестве сухого корма для котят в период их интенсивного роста (в возрасте 5-6 месяцев и при стандартном весе, равном 2,3 кг), когда отмечается повышенная потребность в белках и аминокислотах [1], [8]. На основании данных рис. 1 суточная потребность котят при массе тела 2,3 кг составляет 100г сухого корма или 168 г полусухого корма или 301 г влажного корма в сутки.

В дальнейшем расчете высокобелковый препарат «Зоопротеин» рассматривается для кормления котят выбранного возраста в количестве 100г в сутки. При оценке «Зоопротеина» как корма для кошек его энергетическая ценность рассчитывается с использованием следующих коэффициентов энергетической ценности питательных веществ: 3,9 сырого протеина, 7,7 сырого жира, 3,0 сырой клетчатки, ккал/г [1]. В результате чего расчетное значение составит 434,6 ккал/ 100г высокобелкового препарата «Зоопротеин».

С одной стороны, животное нуждается в требуемом количестве макро-, микронутриентов в зависимости от ряда факторов ее содержания. С другой стороны, несбалансированный по энергии рацион животного может стать причиной дефицита широкого спектра питательных веществ. Особенно часто данная проблема выявляется в период роста, во время беременности и лактации, а также в случае кормления животных несбалансированными кормами промышленного или домашнего изготовления [9], [10].

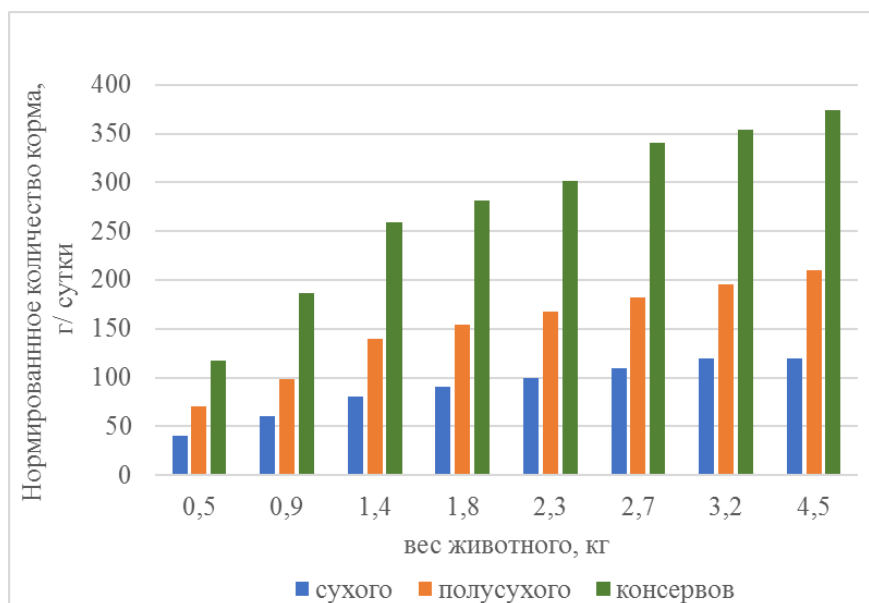


Рис. 1 – Нормированные потребности кошек в период роста

В таблице 2 рассмотрено обеспечение потребности животного в питательных веществах в пересчете на 100г сухого вещества за счет потребления «Зоопротеина». Отметим, что в высокобелковом препарате «Зоопротеине» содержится 4% влаги, что учтено при расчете. Очевидно, что по основным показателям оценки «Зоопротеин» полностью удовлетворяет суточную потребность кошки в период роста и превосходит суточную потребность в клетчатке, кальции и фосфоре.

Таблица 2 – Оценка рациона кошек в период роста

Оцениваемый фактор	Энергетическая ценность, ккал/г сух. в-ва	Количество эссенциальных макро- и микро- нутриентов, г/100 г сух. в-ва				
		белков	жиров	клетчатки	кальция	фосфора
Нормированные потребности кошки	≥4,50	>35,00	≥17,00	<5,00	1,00-1,80	0,80-1,60
Высокобелковый препарат «Зоопротеин»	4,55*	50,34*	30,88*	6,22**	1,81**	1,86**

Примечание: * - удовлетворяет потребность в питательном веществе; ** - превосходит потребность в питательном веществе.

Таким образом, сбалансированный состав «Зоопротеина» позволяет считать его перспективным компонентом в рационе кормления кошки в период роста. В дальнейшем исследовании будут изучены функционально-технологические свойства «Зоопротеина» как основного ингредиента при разработке кормов для кошек, в частности влагоудерживающая, гелеобразующая, жирудерживающая способности и пр. Также отдельное исследование будет посвящено изучению потребности кошек в аминокислотах за счет потребления «Зоопротеина» в определенном количестве в составе рациона животного при различных факторах его содержания и физического состояния.

Список литературы/ References

1. Lewis L.D. Small animal clinical nutrition / L.D. Lewis, M. L. Morris, M. S. Hand; пер. с английского А.С. Ерохина. Кормление собак и кошек [Электронный ресурс] // Kansas, Mark Morris Associates Topeka, 1987. – 146 с. – URL: <http://www.linnafauna.eu/publ/dis/food.pdf> (дата обращения: 31.07.2017).

2. Мотовилов К.Я. Экспертиза кормов и кормовых добавок: Учебное пособие / К.Я. Мотовилов, А.П. Булатов, В.М. Поздняковский и др. – 4-е изд. // – СПб.: Лань, 2013. – 560 с.
3. Чернявская Л.А. Анализ рынка кормов для домашних животных / Л.А. Чернявская, В.С. Ветров, М.Л. Климова // – М.: Пищевая промышленность: Наука и технологии, 2010. – № 4 (10). – С. 93–98.
4. Афанасьева Н.А. Использование вторичных сырьевых ресурсов в производстве корма для взрослых кошек / Н.А. Афанасьева, Л.А. Надточий // – Белгород.: Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки», 2015. – часть I. – С. 144–146.
5. Надточий Л.А. Исследование возможности создания корма для кошек на основе тауринсодержащего сырья / Л.А. Надточий, Н.А. Афанасьева // – СПб.: Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2014. – № 2 (18). – С. 164–169.
6. Хохрин С.Н. Кормление собак и кошек: Справочник / – М.: КолосС, 2006. – 248 с.
7. Пибо П. Энциклопедия клинического питания кошек / П. Пибо, В. Бьюрж, Д. Эллиот; пер. с англ. Шуляк Б.Ф. // М.: ЗАО «Рускан», 2009. – 519 с.
8. Стекольников А.А. Кормление и болезни собак и кошек. Диетическая терапия: Справочник; под общ. ред. А.А. Стекольников / – СПб.: Лань, 2005. – 608 с.
9. Дорош М.В. Ветеринарный справочник для владельцев кошек / – М.: Вече, 2006. – 165 с.
10. Фирсова Е.В. Кошки от А до Я / М.: Вече, 2006. – 320 с.

Список литературы на английском/ References in English

1. Lewis L.D. Kormlenie sobak i koshek [Small animal clinical nutrition] / L.D. Lewis, M. L. Morris, M. S. Hand; translated by A.S. Erochin. [Electronic resource] // Kansas, Mark Morris Associates Topeka, 1987. – 146 p. – URL: <http://www.linnafauna.eu/publ/dis/food.pdf> (accessed: 31.07.2017). [in Russian]
2. Motovilov K.Ja. Jekspertiza kormov i kormovykh dobavok: Uchebnoe posobie [Expertise of feeds and feed additives] / K.Ja. Motovilov, A.P. Bulatov, V.M. Pozdnyakovskii and other – 4th edition. // – SPb.: Lan', 2013. – 560 p. [in Russian]
3. Chernjavskaja L.A. Analiz rynka kormov dlja domashnih zivotnyh [Analysis of market of pet feed / L.A. Chernjavskaja, V.S. Vetrov, M.L. Klimova // – M.: Pichevaja promyshlennost': Nauka i tehnologii [Food Industry: Science and Technology], 2010. – № 4 (10). – P. 93–98. [in Russian]
4. Afanas'eva N.A. Ispol'zovanie vtorichnyh syr'evykh resursov v proizvodstve korma dlja vzroslyh koshek [Use of secondary raw materials in the production of feed for adult cats] / N.A. Afanas'eva, L.A. Nadtochii // – Belgorod.: Sbornik nauchnykh trudov po materialam VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki» [Collection of scientific papers on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference «Theoretical and applied aspects of modern science»], 2015. – Path I. – P. 144–146. [in Russian]
5. Nadtochii L.A. Issledovanie vozmozhnosti cosdaniya korma dlja koshek na osnove taurinsodtrzhashhego syr'ja [Investigation of the possibility of creating a feed for cats on the basis of taurine-containing raw materials] / L.A. Nadtochii, N.A. Afanas'eva // – SPb.: Nauchnyj zurnal NIU ITMO. Serija «Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv» [Scientific journal of ITMO University. The series of "Processes and devices of food manufactures"], 2014. – № 2 (18). – P. 164–169. [in Russian]
6. Hohrin S.N. Kormlenie sobak i koshek [Feeding dogs and cats]: Spravochnik / – M.: KolosS, 2006. – 248 p. [in Russian]
7. Pibo P. Enziopedija klinicheskogo pitaniya koshek [Encyclopedia of clinical nutrition of cats:] / P. Pibo, V. Bjurzh, D. Elliot; Translation by B.F. Shulyak // M.: ZAO Ruskan, 2009. – 519 p. [in Russian]
8. Stekol'nikov A.A. Kormlenie i bolezni sobak i koshek [Feeding and diseases of dogs and cats]. Dieticheskaja terapija: Spravochnik; edition by A.A. Stekol'nikov / – SPb.: Lan', 2005. – 608 p. [in Russian]
9. Dorosh M.V. Veterinarnyi spravochnik dlya vladel'cev koshek [Veterinary reference book for cat owners]. – M.: Veche, 2006. – 165 p. [in Russian].
10. Firsova E.V. Koshki ot A do Ja [Cats from A to Z] / M.: Veche, 2006. – 320 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.083>Остроух Е.Н.¹, Чернышев Ю.О.², Климова Д.Н.³¹Кандидат технических наук, доцент, ²доктор технических наук, профессор,³кандидат педагогических наук, доцент,

Донской государственной технической университет

Статья написана при поддержке гранта РФНННФИ № 16-01-00391 «Разработка комбинированных алгоритмов для решения распределительных и транспортных задач с использованием идеологии искусственных иммунных систем и биоинспирированных алгоритмов»

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ИТ-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация

В статье рассмотрена проблема оптимального распределения программистов-претендентов в команде в целях улучшения качества реализации ИТ-проектов. При проектировании интеллектуальной информационной системы и программного обеспечения для распределения трудовых ресурсов в ИТ-команде в статье был предложен подход, основанный на симбиозе классической модели распределения ресурсов и методе роевого интеллекта (алгоритма колонии пчел). В качестве диагностического инструментария для заполнения базы знаний экспертной системы впервые предложен интегрированный подход, основанный на концепции командных ролей Р.М. Белбина и методикой тестирования программистов для определения их квалификационных показателей и рейтинга, разработанной авторами. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что при оптимальной расстановке программистов-претендентов реализация проектов в ИТ-компании в целом становится значительно более эффективной в целом.

Ключевые слова: распределение ресурсов, метод роя частиц, функция полезности, оптимальное решение, алгоритм колонии пчел.

Ostroukh E.N.¹, Chernyshev Yu.O.², Klimova D.N.³¹PhD in Engineering, Associate Professor, ²PhD in Engineering, Professor,³PhD in Pedagogy, Associate Professor,

Don State Technical University

The article is written with the support of the RFNНNIF grant No. 16-01-00391 "Development of combined algorithms for solving distribution and transport problems using the ideology of artificial immune systems and bioinspired algorithms"

SOLUTION OF THE PROBLEM OF MODELING OF BUSINESS PROCESSES IN IT-COMPANY WITH THE USE OF THE PARTICLE SWARM METHOD

Abstract

The article discusses the problem of the most efficient allocation of programmers-applicants in a team in order to improve the quality of IT projects. When designing an intelligent information system and software for the allocation of labour resources in the IT team, it is proposed to use an approach based on the symbiosis of the classical resource allocation model and the particle swarm method (algorithm of bees' colony). An integrated approach based on the concept of command roles of Belbin was first proposed as a diagnostic tool for filling the knowledge base of the expert system and the methodology of testing programmers to determine their qualifications and rating developed by the authors. The results obtained enable us to conclude that, with the optimal arrangement of programmers, applicants, the implementation of projects in the IT Company as a whole becomes much more effective overall.

Keywords: resource allocation, particle swarm method, utility function, efficient solution, algorithm of bees' colony.

Постановка проблемы и цель ее работы.

В настоящее время в связи с растущими требованиями к проектированию новых информационных систем разрабатываются инновационные подходы, одним из таких перспективных подходов является эволюционное моделирование.

Согласно стандартам к разработке экспертных систем разрабатываемая интеллектуальная информационная система должна иметь тенденцию постоянного контроля с использованием системы менеджмента качества в целях оптимизации ее функционирования [1]. Система использует такие факторы, как измерение ее основных параметров, анализ и корректировка по результатам анализа в процессе жизненного цикла информационной системы. Важнейшей задачей разработки и функционирования информационной системы является оптимальное распределение ресурсов, в том числе человеческих, т.е., программисты распределены в проекте в соответствии с их профессиональными и личными качествами.

Целью нашего исследования является разработка быстрого прототипа экспертной системы распределения трудовых ресурсов в целях успешной разработки ИТ-проектов на основе биоинспирированных алгоритмов. Данный класс алгоритмов представляет собой «природные вычисления», в основе которых лежат идеи эволюционного моделирования, т.е. роевого интеллекта. За основу был взят метод роевого интеллекта-алгоритм колонии пчел, как самый перспективный для решения такого рода задач.

Новизна разработки заключается в решении оптимизационной задачи, связанной с проблемой моделирования бизнес-процессов ИТ-компании. Особенностью целевой функции является ее неунимодальность, часто недифференцируемость, поэтому на первом этапе методом роя ищутся все локальные экстремумы, что метод роя делает весьма успешно, на втором – из них выбираются глобальные.

Результативность и достоверность разрешения поставленной задачи оптимизации человеческих ресурсов ИТ-компании для оптимизации ее функционирования на основе метода роевого интеллекта подтверждается результатами,

полученными Е.Н. Остроухом и его соавторами и отраженными в работах [10], [11]. Проведенные исследования также соответствуют результатам, полученным зарубежными авторами и отраженным в работах [13], [14].

В работе использована технология быстрого прототипирования экспертной системы, которая включает в себя ряд этапов.

Исследовательский прототип ЭС

При разработке тестовых заданий для выявления профессиональных качеств учитываются требования к проектируемой системе, навыки и наработки программистов – претендентов на разработку тех или иных модулей системы. Для заполнения базы знаний ЭС диагностическим инструментарием, в целях оценки профессиональных и личностных качеств программистов, был использован перечень профессиональных требований к программистам, предложенный в работах [2], [9]. А также методика тестирования, разработанная авторами данной статьи Е.Н. Остроухом и Ю.О. Чернышевым [3], [4].

Очевидно, что задача оптимизации человеческих ресурсов IT-компании для оптимизации ее функционирования на основе метода роевого интеллекта сводится к распределению программистов по степени сложности программируемых модулей и задач, при этом возникающих. В этой связи при разработке экспертной системы учитывается вес – полезности программистов в соответствии с вектором их полезности $e=(e_1, e_2, \dots, e_k)$, где k – количество программистов, $0 < e_j < 1$, $e_1 + e_2 + \dots + e_k = 1$.

В контексте нашего исследования для выявления личностных качеств интерес представляет концепция командных ролей Р.М. Белбина [6]. В данной концепции команда формируется не только с учетом профессиональных качеств программиста, а также сбалансирована с точки зрения кластеров личностного поведения в команде. Предложенная модель позволяет давать развернутые индивидуальные рекомендации по развитию конкретным программистом-претендентом своего командного потенциала в будущем.

В самом простом случае, используя результаты тестирования программистов и ранжирования их в порядке убывания функции полезности (рейтинга), с одной стороны, и ранжирования модулей, компонентов в модулях и межмодульных связях, с другой стороны, получаем соответствующие пары программист i – программные продукты $j_{1i}, j_{2i}, \dots, j_{ni}$. В общем случае количество программистов – m , количество работ – n .

Таким образом, по результатам тестирования программистов, оценки их квалификации и навыков, а также командных качеств, связанных с конкретными задачами проекта, экспертами может быть составлен вектор – рейтинг претендентов, в котором программисты распределены в соответствии с убыванием их квалификационных показателей.

Демонстрационный прототип ЭС

В контексте нашего исследования была использована классическая задача о назначениях i -го программиста на j -й программный продукт, т.е., $X_{ij} = \{1, \text{если программист } i \text{ назначен на программный продукт } j; 0, \text{в противном случае}\}$.

Наиболее общей постановкой является постановка задачи в форме классической модели распределения ресурсов:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} f(x_{ij}) \rightarrow \max \quad (1)$$

при условиях:

$$\sum_{i=1}^m t_{ij} x_{ij} \leq a_j; j = \overline{1, n} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \geq b_i; i = \overline{1, m} \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (4)$$

где $f(x_{ij})$ – линейная, нелинейная (выпуклая или вогнутая) функция, часто не является унимодальной, непрерывной и т.д.

Здесь c_{ij} – эффективность использования программиста i на работе j ;

a_j – допустимо возможное время разработки j -го программного модуля; b_i – надежность i -го программного модуля должна быть не ниже величины b_i .

t_{ij} – время, затрачиваемое i -м программистом на j -й проект (модуль);

p_{ij} – надежность разработки i -м программистом j -го проекта (модуля)

Можно в соотношения (1) и (2) ввести ограничения на рост производительности не ниже величины r_i . При этом желательно, чтобы риски сокращались при улучшении использования ресурсов.

Для решения задачи (1) – (4) был использован алгоритм роевого интеллекта (колонии пчел). Эффективность алгоритма колонии пчел в соотношении с другими методами роевого интеллекта (муравьиный алгоритм, генетический и др.) при решении различных задач доказана в работах исследователей под руководством Курейчика В.М. и др. [5], [8], [12], [15]. Алгоритм использовал следующий подход. В принципе, решалась задача нахождения глобального (безусловного) экстремума (1) без учета условий (2) и (3). При непопадании полученных компонент в область допустимых значений, эти решения отсекались и в дальнейшем рассматривались только решения, удовлетворяющие соотношениям (2) и (3).

Алгоритм распределения i программиста в проекте P_j на основе роевого алгоритма (алгоритма колонии пчел) представлен на рисунке 1.

Разработанный алгоритм разделяется на два этапа:

1. Инициализация параметров:

m – количество программистов в пространстве поиска;

n – количество проектов;

a_j – допустимо возможное время разработки j -го программного модуля;

b_i – надежность i -го программного модуля;

рост производительности не ниже величины r_i ;

$k=0$; обнуление счетчика пчел-фуражиров для каждого j проекта

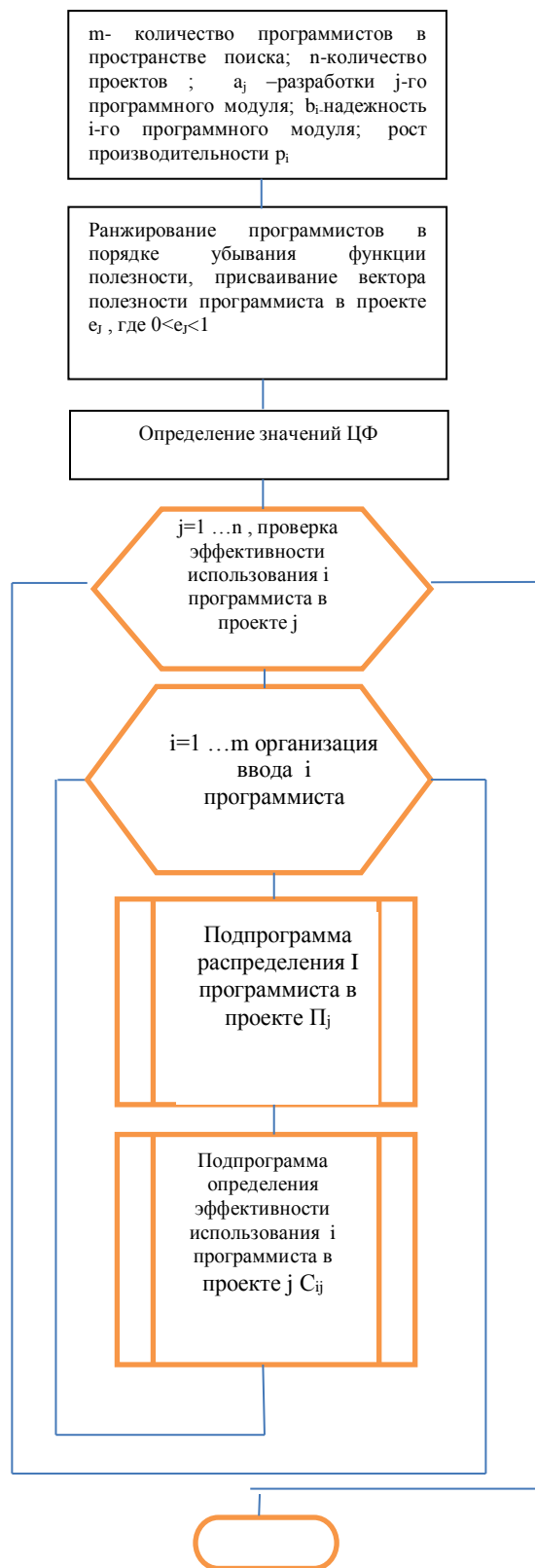


Рис. 1 – Блок-схема работы задачи о назначениях на основе алгоритма роевого интеллекта

2. Локальный поиск:

1. из случайной выборки m осуществляем отбор программистов (рабочих) пчел-фуражиров в соответствии с проранжированным коэффициентом полезности, где $e_i > 0,5$ $k=k+1$, где k -количество программистов в j проекте, $k \leq 6$, данное значение обозначено в источниках [5],[7];

2. Из полученной выборки k вычлняем программистов, с высоким коэффициентом функции принадлежности $\max(e_i)$ -пчела разведчик, где $i=1..k$;

3. Если несколько пчел-разведчиков с показателем $\max(e_i)$ - то учитываем тестирование по опроснику Белбина (строительство команд);

4. Осуществляем оценку эффективности использования i программиста в проекте j согласно весу (KPI) в матрице эффективности C_{ij} . Вес (KPI) включает в себя параметры: t_{ij} – время, затрачиваемое i -ым программистом на j -проект (модуль); p_{ij} – надежность разработки i -м программистом j -го проекта (модуля).

5. если критерий останова не выполняется, то $p.i$;

6. конец работы алгоритма.

Таким образом, в конце работы алгоритма будут сформированы команды с пчелой - разведчиком - выявленным руководителем, имеющим высокие показатели профессиональных и личностных качеств и пчелами - фуражирами, обладающими профессиональными навыками, которые эффективно удовлетворяют поставленным задачам j проекта.

Заключение

В заключение выделяем несколько преимуществ использования метода роя с целью повышения коллективного IQ работы программистов над IT-проектом:

1. Оптимизация управления. Возможность эффективного разделения на параллельные процессы в ходе работы. В процессе поиска нектара каждая агент пчела решает подзадачу проекта.

2. Коллективный интерес в процессе разработки. Пчелы-разведчики определяют свои интересы соразмерно с интересами компании для обнаружения оптимального варианта для решения поставленных задач, поэтому они эффективно работают с пчелами - фуражирами как единая команда.

3. Обмен инновациями («танец пчелы») и отсутствие психологического дискомфорта внутри команды. Пчелы-разведчики свободно делятся идеями о своих разработках с другими. Решение о выборе окончательного варианта принимается каждой пчелой самостоятельно.

Список литературы / References

1. Нехотина В.С. Модель оценки IT-проектов / В.С. Нехотина // Научные ведомости. - №8 (179). - 2014. - Вып.30/1. - С. 146-152.

2. Живаева А.А. Критерии профессиональности программистов при разработке экспертной системы управления программными проектами / А.А. Живаева, В.В. Долгов // Инженерный вестник Дона. - 2017. - №2. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4170 (дата обращения: 26.06.2017)

3. Остроух Е.Н. Разработка методов и алгоритмов проверки работы предприятия с точки зрения информационной безопасности его функционирования/ Е.Н. Остроух, Ю.О.Чернышев, С.А.Мухтаров, Н.Ю. Богданова // Инженерный вестник Дона. - 2016. - №2. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3575> (дата обращения: 26.06.2017)

4. Остроух Е.Н. Методика контроля информационной безопасности предприятия с использованием адаптационного тестирования/ Е.Н. Остроух, Ю.О. Чернышев, С.А. Мухтаров, Н.Ю. Богданова // Сборник материалов международной научно-практической конференции “Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты”. - Кемерово. - 2016. - т. II. - С. 305-310.

5. Водлазский И. А. Роевой интеллект и его наиболее распространенные методы реализации / И.А. Водлазский, А.С. Егоров, А.В. Краснов // Молодой ученый. — 2017. — №4. — С. 147-153.

6. Белбин Меридит. Команды менеджеров. Как объяснить их успех или неудачу/ Меридит Белбин Р. - 3-е. изд. - Изд-во:МИФ. - 2009. - 240 с.

7. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А. П. Карпенко. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 446, [2] с.: ил.

8. Курейчик В.В. Теория эволюционных вычислений/ В.В. Курейчик, В.М.Курейчик, С.И. Родзин. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 260 с.

9. Долгов В.В. Особенности построения математических моделей учебного расписания для крупных образовательных центров / В.В. Долгов, С.А. Мухтаров, Е.Н. Остроух, Р.Ш. Гамзалиев // Фундаментальные исследования. - 2016. - № 9 (часть 1). - С. 9-15.

10. Остроух Е.Н. Характеристики биоинспирированных алгоритмов / Е.Н. Остроух, А.А.Золотарев, О.И. Агибалов //Материалы международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. - Ростов-на-Дону – Дивноморск. - 2016. - Том 1. - С. 7-13.

11. Золотарев А.А. Оптимизация распределительных процессов на основе аналитических методов и эвристических алгоритмов/А.А. Золотарев, Н.Н. Венцов, О.И. Агибалов, А.С. Деева//Вестник науки и образования Северо-Запада России. - 2016, т.2.-С. 4-5.

12. Курейчик В.М., Использование пчелиных алгоритмов для решения комбинаторных задач/ Курейчик В.М., Кажаров А.А.// Штучный интеллект. - 2010. - №3. - С.583-589.

13. Colaco Marcelo J., Dulikravich George S. A Survey of Basic Deterministic, Heuristic And Hybrid Methods for Single Objective Optimization and Response Surface Generation. METTI IV –Thermal Measurements and Inverse Techniques Rio de Janeiro, Brazil, November 8-13, 2009. URL: <http://maidroc.fiu.edu/Publications/ConferencePapers/Resume/CP10.pdf>

14. Rini D.P., Shamsuddin S.M., Yuhaniz S.S. Particle Swarm Optimization: Technique, System and Challenges // International Journal of Computer Application. 2011. №14 (1).

15. Thomas D. Seeley, P. Kirk Visscher, Thomas Schlegel, Patrick M. Hogan, Nigel R. Franks, James A. R. Marshall. Stop Signals Provide Cross Inhibition in Collective Decision-Making by Honeybee Swarms // *Science*. 2012. V. 335. P. 108–111

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nekhotina V.S. Model otsenki IT-proektov [Model of IT-projects Evaluation] / V.S. Nekhotina // Scientific Bulletin. - No.8 (179). - 2014. - Issue 30/1. - P. 146-152.

2. Zhivaeva A.A. Kriterii professionalnosti programmistov pri razrabotke ekspertnoi sistemy upravleniya programmnyimi proektami [Criteria of Professionalism of Programmers at the Development of an Expert System for Managing

Software Projects] / A.A. Zhivaeva, V.V. Dolgov // Engineer's Messenger of the Don.- 2017.- No.2.- URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4170 (accessed date: 26.06.2017)

3. Ostroukh E.N. Razrabotka metodov i algoritmov proverki raboty predpriyatiya s tochki zreniya informacionnoi bezopasnosti ego funkcionirovaniya [Development of Methods and Algorithms for Verifying the Operation of an Enterprise in Terms of Information Security of its Operation] / E.N. Ostroukh, Yu.O. Chernyshev, S.A. Mukhtarov, N.Yu. Bogdanova // Engineer's Messenger of the Don.- 2016.- No.2.- URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3575> (accessed date: 26.06.2017)

4. Ostroukh E.N. Metodika kontrolya informacionnoi bezopasnosti predpriyatiya s ispolzovaniem adaptatsionnogo testirovaniya [Method of Monitoring Information Security of an Enterprise Using Adaptive Testing] / E.N. Ostroukh, Yu.O. Chernyshev, S.A. Mukhtarov, N.Yu. Bogdanova // Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference "Fundamental Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects."- Kemerovo.- 2016.- V. II.- P. 305-310.

5. Vodolazskii I. A. Roevoy intellekt i ego naibolee rasprostranionnye metody realizatsii [Swarm Intelligence and its Most Common Methods of Implementation] / I.A. Vodolazskii, A.S. Egorov, A.V. Krasnov // Young Scientist. — 2017. — No.4. — P. 147-153.

6. Belbin Meridit. Komandy menedzherov. Kak obiasnit ikh uspekhi ili neudachu [Teams of Managers. How to Explain their Success or Failure] / Meridit Belbin R.- 3rd edition.- Publishing House:MIF.-2009.-240 p.

7. Karpenko A. P. Sovremennye algoritmy poiskovoi optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy: uchebnoye posobie [Modern Algorithms of Search Optimization. Algorithms Inspired by Nature: Tutorial] / A. P. Karpenko. — Moscow: Publishing House of MSTU named after N.E. Bauman, 2014. — 446, [2] p.: ill.

8. Kureichik V.V. Teoriya evoliutsionnykh vychislenii [Theory of Evolutionary Computations] / V.V. Kureichik, V.M.Kureichik, S.I. Rodzin.- M.: FIZMATLIT, 2012, 260 p.

9. Dolgov V.V. Osobennosti postroeniya matematicheskikh modelei uchebnogo raspisaniya dlia krupnykh obrazovatelnykh tsentrov [Features of Construction of Mathematical Models of the Educational Schedule for Large Educational Centres] / V.V. Dolgov, S.A. Mukhtarov, E.N. Ostroukh, R.Sh. Gamzaliev // Fundamental research.- 2016.- No. 9 (Part 1).- P. 9-15.

10. Ostroukh E.N. Kharakteristiki bioinspirirovannykh algoritmov [Characteristics of Bioinspired Algorithms] / E.N. Ostroukh, A.A.Zolotarev, O.I. Agibalov // Materials of the International Congress on Intelligent Systems and Information Technologies. - Rostov-on-Don – Divnomorsk.- 2016.- V. 1.- P. 7-13.

11. Zolotarev A.A. Optimizatsiya raspredelitelnykh protsessov na osnove analiticheskikh metodov i evristicheskikh algoritmov [Optimization of Allocation Processes Based on Analytical Methods and Heuristic Algorithms] / A.A. Zolotarev, N.N. Ventsov, O.I. Agibalov, A.S. Deeva // Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia.- 2016, v.2.-P. 4-5.

12. Kureichik V.M., Ispolzovanie pchelinykh algoritmov dlia resheniya kombinatornykh zadach [Use of Bee Algorithms for Solving Combinatorial Problems] / Kureichik V.M., Kazharov A.A.// Artificial Intelligence.-2010.-No.3.-P.583-589.

13. Colaco Marcelo J., Dulikravich George S. A Survey of Basic Deterministic, Heuristic And Hybrid Methods for Single Objective Optimization and Response Surface Generation. METTI IV –Thermal Measurements and Inverse Techniques Rio de Janeiro, Brazil, November 8-13, 2009. URL: <http://maidroc.fiu.edu/Publications/ConferencePapers/Resume/CP10.pdf>

14. Rini D.P., Shamsuddin S.M., Yuhaniz S.S. Particle Swarm Optimization: Technique, System and Challenges // International Journal of Computer Application. 2011. №14 (1).

15. Thomas D. Seeley, P. Kirk Visscher, Thomas Schlegel, Patrick M. Hogan, Nigel R. Franks, James A. R. Marshall. Stop Signals Provide Cross Inhibition in Collective Decision-Making by Honeybee Swarms // *Science*. 2012. V. 335. P. 108–111

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.098>Попов В.М.¹, Афонькина В.А.², Левинский В.Н.³¹ORCID: 0000-0001-5773-4839, Доктор технических наук, доцент,²ORCID: 0000-0001-9743-5278, Кандидат технических наук, доцент,³ORCID: 0000-0001-9778-3168, аспирант,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный аграрный университет» в г. Троицке.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ИК – СУШКИ
ТОМАТОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ****Аннотация**

В статье рассмотрена классификация показателей качества продукции. Рассмотрен состав свежего томата, выбран и обоснован определяющий показатель качества томатов – аскорбиновая кислота. Представлена пищевая ценность сушёных томатов согласно стандарта USDA, по которому определялось необходимое содержание аскорбиновой кислоты после сушки. Приведены результаты эксперимента в виде диаграммы анализа качества сушеных томатов на основе сравнения содержания аскорбиновой кислоты (витамина С) в образцах, полученных разными способами инфракрасной сушки. Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) после сушки наблюдается в инфракрасной сушильной установке высоковлажного биологического сырья с применением низкотемпературного пленочного электронагревателя, причем данный показатель более чем на 50% больше базового значения стандарта USDA. В двух других образцах, а именно высушенных на конвективно-радиационной сушильной установки «УРАЛ-4» и высушенных с применением естественной солнечной сушки производственной фирмой Узбекистана Витамина С не обнаружено.

Ключевые слова: ИК-сушка, низкотемпературный пленочный электронагреватель, аскорбиновая кислота, показатели качества.

Popov V.M.¹, Afonkina V.A.², Levinsky V.N.³¹ORCID: 0000-0001-5773-4839, PhD in Engineering, Associate professor,²ORCID: 0000-0001-9743-5278, PhD in Engineering, Associate professor,³ORCID: 0000-0001-9778-3168, postgraduate student,

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "South Ural State Agrarian University" in Troitsk.

**RESULTS OF INVESTIGATIONS OF QUALITATIVE INDICATORS OF THE PROCESS OF IR-DRYING
TOMATO ON THE CONTENT OF ASORBINE ACID****Abstract**

The article considers the classification of product quality indicators. The composition of fresh tomato is considered, and the determining indicator of the quality of tomatoes, ascorbic acid, is selected and justified. The nutritional value of dried tomatoes according to the USDA standard is presented, according to which the necessary content of ascorbic acid after drying was determined. The results of the experiment are presented in the form of a diagram of the analysis of the quality of dried tomatoes based on a comparison of the content of ascorbic acid (vitamin C) in samples obtained by different methods of infrared drying. The highest content of ascorbic acid after drying is observed in an infra-red drying plant of high-moisture biological raw materials with the use of a low-temperature film electric heater, which is more than 50% higher than the basic value of the USDA standard. Ascorbic acid was not detected in the dried "URAL-4" convection-radiation drying plant and dried with the use of natural solar drying by the manufacturing company of Uzbekistan.

Keywords: IR-drying, low-temperature film electric heater, ascorbic acid, quality indicators.

Сушка биологического сырья - это сложный термофизический и технологический процесс, по многим показателям которого зависит ценность и качество готовой продукции. Из высушенного сырья растительного происхождения получают натуральные фитопродукты такие как: специи, пищевые добавки, детское питание, лечебные масла и др. В процессе переработки биологического сырья, которое подвергается обезвоживанию, очень важно обеспечить наилучший результат конечного продукта по качеству и максимально сохранить в нем витамины, целевые компоненты и полезные вещества. Все эти факторы накладывают дополнительные ограничения на режимы сушки, способ обезвоживания и технологический регламент переработки в целом. Конечная цель сушки – это получение биопродукта, который будет обладать лучшими свойствами, и будет отвечать всем требованиям транспортировки и хранения.

От степени и характера решения задач оценки качества продукции, показатели классифицируют по ряду признаков (рис. 1). Наибольшее применение для оценки качества продукции получили оценки производственно-технического назначения, показатели которого систематизированы по характерным свойствам. Показатели назначения определяют свойства продукции, которые устанавливают основные функции, выполняющие главное предназначение, и обуславливающие область применения.



Рис. 1– Классификация показателей качества продукции

Показатель, который послужит для принятия решение оценки качества продукции, становится **определяющим**. Свойства, которые учитывают определяющий показатель, могут обозначаться единичными, комплексными и интегральными показателями, которые относятся к классификационному признаку показателей качества продукции по количеству характеризующих свойств [1, С. 363-367].

Существует несколько показателей, от которых зависит состав томатов, во-первых, разновидность (мясистые, скороспелые, окрас, величина) во-вторых, степень зрелости (красная, розовая, бурая) и условия выращивания (грунт, теплица). Томат свежий в своем составе содержит: а) вода до 95%, б) сахара до 4,5%, (глюкоза, фруктоза и сахароза) в) Аскорбиновая кислота, г) Аминокислоты (аспарагиновая, аминокислотная, глутаминовая) д) полисахариды до 1,3% (с преобладанием клетчатки, а также гемицеллюлозы, крахмал, пектин), е) пигменты (в большей степени ликопин и β-каротин), ж) органические кислоты до 0,8%) ферменты (целлюлаза, амилаза, пектиновые ферменты, фосфоорилаза и инвертаза), и) летучие вещества (3-гексенол, 2-изобутилтиозол и В-ионон), они представлены в виде эфиров – 57,5%, длинноцепочных спиртов, углеводов, карбонильных соединений – 31,5% и С3 и С6 спиртов - 11%. Томаты – содержат большое количество витаминов (β-каротин, Е, С, В6, биотин, ниацин, рибофлавин, тиамин, фолатин) и минеральными веществами (калий, натрий, фосфор, магний, железо, цинк, медь). Пектиновые вещества – это важный фактор, который определяет плотность плодовой мякоти. Больше содержание пектиновых веществ у сортов, которые имеют большую плотность плодовой мякоти. Томаты содержат до 0,22% пектиновых веществ. Во время процесса созревания нерастворимая форма пектина (протопектин) резко уменьшается, что способствует увеличению растворимого пектина.

Из всего списка содержания в свежих томатов, для оценки качества продукта после сушки наиболее рациональным определяющий показателем содержания является **аскорбиновая кислота (витамин С)**, как один из самых термолабильных компонентов пищевых продуктов, обладающий витаминной активностью, и легко разрушается в течении технологической обработки. Её потери могут быть обусловлены термическим разрушением, окислением и вовлечением в реакцию Майяра.

Аскорбиновой кислоты (витамин С) – это одним из важнейших веществ в рационе человека. Во-первых, это регулятор окислительно-восстановительных процессов и мощнейший антиоксидант, он необходим в синтезе адреналина и гормонов; во-вторых, благодаря аскорбиновой кислоте регулируется проницаемость капилляров и свёртываемость крови; в-третьих, витамин С оказывает действие против воспаления; в-четвёртых, он уменьшает реакции аллергии. К тому же, аскорбиновая кислота оказывает помощь в противостоянии стрессовым ситуациям и их последствиям, а также оказывает усиление устойчивости организма к инфекционным заболеваниям. Аскорбиновая кислота способствует организму в лучшем усвоении железа и кальция, в то же время выводит свинец, ртуть и медь, предотвращает налипание на стенки сосудов холестерина. Без аскорбиновой кислоты человек чувствует слабость и незащищённость, а при необходимом его количестве стимулирует организм так, что он сам обеспечивает здоровое функционирование.

В таблице 1 рассмотрена пищевая ценность сушёных томатов влажностью 14,5%, согласно базе данных продуктов питания США (USDA), стандарта РФ сушеных томатов не существует. В 100г. сушёных томатов вполне реально удовлетворяют суточную потребность человека в β-каротине и калии, 65% потребности в аскорбиновой кислоте и железе, 75% – в меди, 50% дневной нормы потребности в ниацине и магнии, 35% – в фосфоре.

Таблица 1 – Пищевая ценность сушеных томатов

Наименование	Содержание в 100г
Углеводы, г	55,7
Сахара	34,8
Другие углеводы	8,9
Пищевые волокна	12,4
Белки, г	13,9
Жиры, г	3,1
Витамины, мг	
β-каротин	11,9
витамин С	39,3
Фолацин	69,1
витамин Е	3,1
тиамин (В ₁)	0,52
рибофлавин (В ₂)	0,5
ниацин (В ₃)	9,1
витамин В ₆	0,34
пантотеновая кислота	1,98
Минеральные вещества, мг	
Калий	3426
Натрий	116
Фосфор	355
Магний	193
кальций	109
Железо	9,08
Цинк	1,9
Медь	1,43
Калорийность, ккал	259

Знать уровень исследуемых показателей очень важно, так как установленный уровень качества продукции, будет являться отправной точкой для совершенствования технологии в ее производстве [2, С. 26-43].

Программой экспериментов было определено оценить качество высушенных томатов, высушенных различными способами:

- в инфракрасной сушильной установке высоковлажного биологического сырья с применением низкотемпературных пленочных электронагревателей [3, С. 34-39], [4, С. 267-274], [5];
- в конвективно-радиационной сушильной установки «УРАЛ-4»;
- с применением естественной солнечной сушки производственной фирмы Узбекистана.

Для сушки в инфракрасной сушильной установке высоковлажного биологического сырья с применением пленочного электронагревателя и конвективно-радиационной сушильной установки «УРАЛ-4» были выбраны томаты выращенные на грунте в Челябинской области, сорт «Марьюшка», сливовидный мясистый плод, вес которого не превышает 70г., урожай собран в августе 2016г.

Готовые сушеные томаты, выращенные на грунте и высушенные естественной солнечной сушкой производственной фирмы Узбекистана, были закуплены под заказ, урожайность август-сентябрь 2016г.

Все образцы томатов выращены в одно время, это очень важно для дальнейшего сравнения образцов по содержанию аскорбиновой кислоты (витамина С).

Определении содержания в томатах **аскорбиновой кислоты (витамин С)** выполнено в Аккредитованном Испытательном лабораторном центре Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Челябинской области». Испытания для каждого образца проводились в пятикратном повторе. После чего вычислялось среднее значение содержания витамина С, по которым построена диаграмма анализа качества сушеных томатов, в единицах измерения мг/100г (рис. 2).

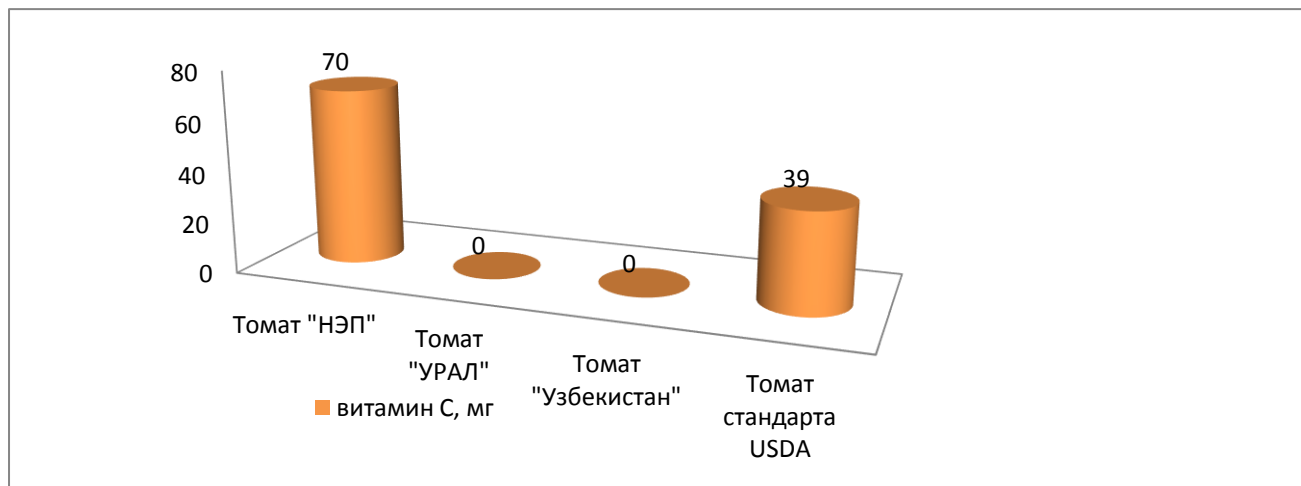


Рис. 2 – Диаграмма анализа качества сушеных томатов, на основе сравнения содержания аскорбиновой кислоты (витамина С) в образцах

Таким образом, лучший определяющий усредненный показатель содержания аскорбиновой кислоты (витамина С) после сушки наблюдается в инфракрасной сушильной установке высоковлажного биологического сырья с применением низкотемпературного пленочного электронагревателя, при чем данный показатель на 50% больше базового значения стандарта USDA. В двух других образцах, а именно высушенных на конвективно-радиационной сушильной установки «УРАЛ-4» и высушенных с применением естественной солнечной сушки производственной фирмой Узбекистана Витамина С не обнаружено.

Высокий результат ИК-сушки томатов в установке высоковлажного биологического сырья достигнут за счет: 1. полностью автоматизации процесса сушки с контролем основных параметров; 2. применения в конструкции низкотемпературного пленочного электронагревателя, который обеспечил необходимую длину волны для поглощения воды в продукте при этом содержание других веществ, в том числе и аскорбиновой кислоты, остались на высоком уровне[6], [7, С. 227-232].

Список литературы / References

1. Попов В.М. Результаты исследований качественных показателей процесса ИК-сушки зеленых культур / В.М. Попов, В.А. Афонькина, Е.И. Шукшина, В.Н. Левинский // Материалы Пятдесят третьей международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск. - 2014. – С. 363-367.
2. Чернышев С.В. Разработка и научное обоснование технологии сушеных томатов: дис. ... докт. тех. наук : 05.18.01 : защищена 13.10.11 : утв. 22.12.11 / Чернышев Сергей. Кишинев: – 2011- С.26 – 43.
3. Левинский В.Н. Разработка сушильной установки высоковлажного биологического сырья с применением пленочных электронагревателей / В.Н. Левинский, В.М. Попов, В.А. Афонькина // Материалы научно-практической конференции в рамках Двадцать шестой международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2016». Уфа. – 2016. – С.34-39.
4. Попов В.М. К вопросу об инфракрасной сушке томатов / В.М. Попов, В.А. Афонькина, В.Н. Левинский // Материалы Пятдесят пятой международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск. - 2016. – С. 267-274.
5. Пат. 100353 Российская Федерация, МПК H05B 3/36. Пленочный электронагреватель / Полевой Б.Г., Попов В.М.: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Челябинская государственная агроинженерная академия». - №2010115793/07; заявл. 20.04.10; опубл. 10.12.10, - Бюл. №34. – 5 с. : ил.
6. Пат. 2596918 Российская Федерация, МПК F26B 9/06, F26B 3/353. Установка для сушки высоковлажных материалов / Попов В.М., Афонькина В.А., Шукшина Е.И., Левинский В.Н., Майоров В.И.: заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью научно-технический центр "АгроЭСБ" (RU) - №2015119853/06; заявл. 26.05.15; опубл. 10.09.16, - Бюл. №25. – 5 с. : ил.
7. Попов В.М. Проблемы проектирования и эксплуатации электротехнологических установок / В.М. Попов, В.А. Афонькина // Материалы Пятдесят второй международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск. - 2013. – С. 227-232.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Popov V.M. Rezul'taty issledovaniy kachestvennykh pokazateley protsesssa IK-sushki zelenykh kul'tur [Results of studies of qualitative indicators of the process of infrared drying of green cultures] / V.M. Popov, V.A. Afon'kina, Ye.I. Shukshina, V.N. Levinskiy // Materialy Pyat'desyat tret'yey mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu».[Materials of the Fifty-third International Scientific and Technical Conference "Achievements of Science - Agro-Industrial Production"] Chelyabinsk. - 2014. – P. 363-367. [in Russian]
2. Chernyshev S.V. Razrabotka i nauchnoye obosnovaniye tekhnologii sushenykh tomatov[Development and scientific substantiation of technology of dried tomatoes: dis. ... of PhD in Engineering]: 05.18.01: it is protected 13.10.11: it is approved. 22.12.11 / Chernyshev Sergey. Kishinev: – 2011- P.26–43.
3. Levinskiy V.N., Popov V.M., Afon'kina V.A. Razrabotka sushil'noy ustanovki vysokovlazhnogo biologicheskogo syr'ya s primeneniym plenochnykh elektronagrevateley [Development of a drying plant for high-moisture biological raw materials using film-type electric heaters] / V.N. Levinskiy, V.M. Popov, V.A. Afon'kina // Materialy nauchno-prakticheskoy

- konferentsii v ramkakh Dvadsat' shestoy mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vystavki «Agrokompleks-2016». [Materials of the scientific-practical conference within the framework of the twenty-sixth international specialized exhibition "Agrocomplex-2016"] Ufa. - 2016. - P. 34-39. [in Russian]
4. Popov V.M., Afon'kina V.A., Levinskiy V.N. K voprosu ob infrakrasnoy sushke tomatov [o the problem of infrared drying of tomatoes] / V.M. Popov, V.A. Afon'kina, V.N. Levinskiy // Materialy Pyat'desyat pyatoy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu». [Materials of the Fifty-fifth International Scientific and Technical Conference "Achievements of Science - Agro-Industrial Production"] Chelyabinsk. - 2016 - P. 267-274. [in Russian]
5. Pat. 100353 Rossijskaja Federacija, MPK N05V 3/36. Plenochnyj jelektronagrevatel' [Film electric heater] / Polevoj B.G., Popov V.M.: applicant and patent holder Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Chelyabinsk State Agroengineering Academy". - №2010115793 / 07; Claimed. 20.04.10; Publ. 10.12.10, - Bul. №34. - 5 P.
6. Pat. 2596918 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F26B 9/06, F26B 3/353. Ustanovka dlya sushki vysokovlazhnykh materialov [Plant for drying high-moisture materials] / Popov V.M., Afon'kina V.A., Shukshina Ye.I., Levinskiy V.N., Mayorov V.I.: applicant and patent holder Limited Liability Company Scientific and Technical Center "AgroESB" (RU) - No.2015119853 / 06; Claimed. 26.05.15; Publ. 10.09.16, - Bul. №25. - 5 P.
7. Popov V.M., Afon'kina V.A. Problemy proyektirovaniya i ekspluatatsii elektrotekhnologicheskikh ustanovok [Problems of design and operation of electrotechnological installations] / V.M. Popov, V.A. Afon'kina // Materialy Pyat'desyat vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu». [Materials of the Fifty-second International Scientific and Technical Conference "Achievements of science - agro-industrial production"] Chelyabinsk. - 2013. - P. 227-232. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.040>Саттаров Ш. М.¹, Баратов Ш. Ф.², Хайдаров Ш. А.³, Абзалов А. А.⁴, Перлова А. С.⁵¹Бакалавр кафедры «Бурения нефтяных и газовых скважин», ²бакалавр кафедры «Бурения нефтяных и газовых скважин», ³магистр кафедры «Бурения нефтяных и газовых скважин»,^{4,5}бакалавр кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений»,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХЛОРИДАМИ МЕТАЛЛОВ**Аннотация**

В статье проводилось изучение свойств тампонажных растворов модифицированных хлоридами металлов. Поскольку конечной целью бурения скважин является создание долговечного и прочного изолированного канала, который связывает продуктивный пласт и дневную поверхность, то изучение свойств современных тампонажных растворов является актуальной темой, полностью не изученной до сегодняшнего дня. Стоит отметить, что при проводке скважин решающее значение имеют тампонажные материалы, которые используют для крепления стенок скважин и разобщение пластов. Основой использования тампонажных растворов для цементирования является их способность к структурообразованию и твердению. Требования к тампонажным материалам для цементирования нефтяных и газовых скважин в основном определяются геолого-техническими особенностями их проводки, которые также были изучены в представленной статье.

Ключевые слова: тампонажный раствор, модификаторы, понизители водоотдачи, цементный камень, замедлители сроков схватывания.

Sattarov Sh.M.¹, Baratov Sh.F.², Khaidarov Sh.A.³, Abzalov A. A.⁴, Perlova A.S.⁵¹Bachelor of the Department of "Oil and Gas Wells Drilling", ²Bachelor of the Department of "Oil and Gas Wells Drilling", ³Master's Degree Student of the Department of "Oil and Gas Wells Drilling",^{4,5}Bachelor of the Department of "Geology and Oil and Gas Field Exploration",

Ufa State Oil Technical University

STUDY OF THE PROPERTIES OF BACKFILL SOLUTIONS MODIFIED BY METAL CHLORIDE**Abstract**

The following article discusses the properties of oil-well slurries modified with the help of metal chloride. As the ultimate goal of drilling wells is the creation of a durable and strong isolated channel that connects the productive layer and the day surface, the study of the properties of modern oil wells is a relevant topic that has not yet been fully explored. It should be noted that when drilling wells, cementing materials used for fixing the walls of wells and separation of beds are crucial. The basis for the use of cementing slurry is their ability to structure and harden. Requirements for oil wells for cementing oil and gas wells are mainly determined by the geological and technical features of their wiring, which were also studied in the presented article.

Keywords: cementing slurry, modifiers, fluid loss reducers, cement stone, retarders of setting time.

Важное значение тампонажных растворов при подводке скважины обуславливается тем, что от их возможности функционирования в различных технических ситуациях зависят эксплуатационные свойства скважины, а также ход буровых работ. Ввиду этого, целесообразность затрат на изучение физико-химических свойств тампонажных систем очевидна. Одним из способов управления свойствами тампонажных материалов является введение модифицирующих добавок. Такие добавки стали предметом исследования ряда научных работ [6, С.30], [9, С. 25-31], [10, С. 215]. К ним относят пластифицирующие добавки, понизители фильтрации, расширяющие добавки,

исключающие усадку цементного камня. К числу новых материалов с заданными свойствами относят и комплексные – вещества, образующие прочные соединения с катионами поливалентных металлов. К более доступным добавкам относят соли металлов, каустическую соду и другие реагенты.

Разработка месторождений нередко сопровождается особыми геологическими условиями, в частности, месторождения Сибири, характеризующиеся низкими температурами пород, настаивают на поиске новых материалов со специфическими свойствами, позволяющими облегчить ведение буровых работ в осложненных условиях. Для разобщения продуктивных пластов в литературе описаны эффективные материалы на основе минеральных вяжущих веществ [7, С. 46–52], [8, С.62].

Тампонажная система представляет собой сложный дисперсный объект исследования. Данный раствор при низкой температуре остается в жидком состоянии до 10 часов и более, что приводит к большой усадке раствора (до 30 и более метров) и ухудшению качества сцепления цементного камня с колонной и стенкой скважины. Ускорители твердения в данном случае играют немаловажную роль, помогая повысить качество крепления верхних интервалов скважин. Однако, в условиях экспрессного затвердевания раствора существует риск того, что система не наберет нужную для работы прочность.

В ходе изучения свойств тампонажных растворов в качестве сырьевого материала был использован цементный раствор на основе ПЦТ I-50 при водно-цементном отношении, равном 0,5, в качестве базовых компонентов растворов выбраны следующие реагенты в различных концентрациях: хлорид натрия, хлорид кальция и хлорид железа (III). Согласно ГОСТ 26798.1-96 «Цементы тампонажные. Методы испытаний» [3], [5, С. 369] выбранный материал отдельно и с вводимыми реагентами различных концентраций был рассмотрен по следующим показателям: растекаемость, плотность цементного теста, время загустевания, водоотделение, а также прочность цементного камня на изгиб и сцепление цементного кольца с наружной поверхностью.

На рис. 1 представлена зависимость растекаемости от концентрации вводимой добавки соли, из которого видно, что наилучший результат из представленных показывает добавка хлорида натрия. Растекаемость тампонажного раствора увеличивается с возрастанием количества хлорида натрия до 2%. В точке 230 мм график имеет максимум и при дальнейшем росте концентрации, растекаемость уменьшается вплоть до первоначального значения.

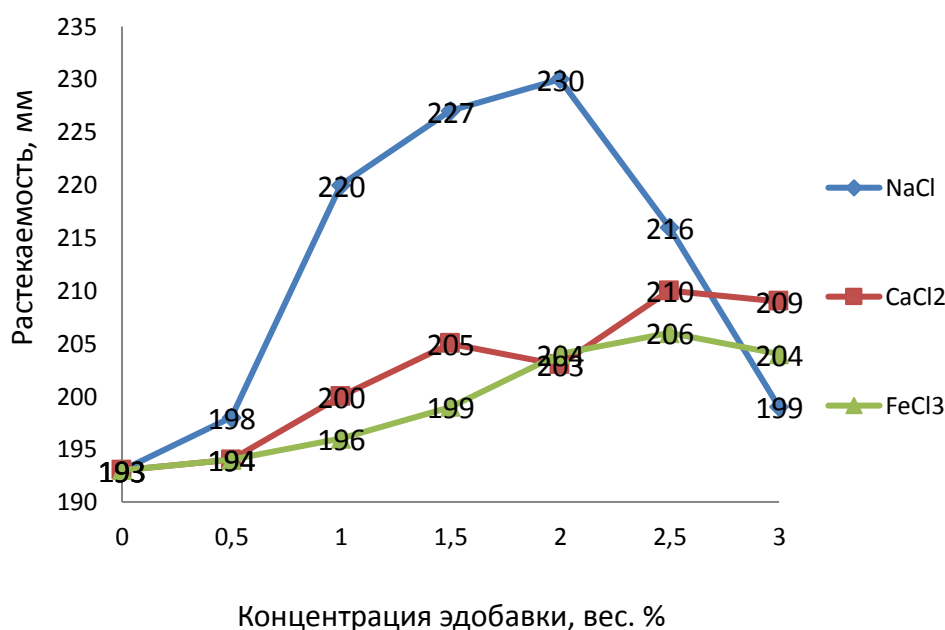


Рис. 1 – Зависимость концентрации соли от растекаемости

Важной задачей является снижение водоотделения цементов. После того как затворился цемент, в первые часы почти вся вода (за исключением 1-2%) является химически не связанной с цементными частицами, и в цементе удерживается только благодаря силе поверхностного натяжения, а также благодаря адсорбированному действию цемента по отношению к ней [5, с. 60]. Но, когда часть воды отделяется от цементного раствора, то очень быстро изменяются условия формирования цементного камня, а также это касается и физико-механических свойств и самого камня. Если непрерывно из цементного раствора удалять непрерывно выделяющуюся воду, то в цементном камне появятся трещины, и он будет пористым. Стоит также отметить такую особенность, что у цементного камня механическая прочность в 3-4 раза меньше прочности цементного камня, который затвердел при нормальных условиях. Из-за того, что он потерял большое количество воды, значительно изменяются свойства цементного раствора. Схватывается цементный раствор и твердеет камень неравномерно. Это, естественным образом, отражается и на физико-механических свойствах самого камня. На рис. 2 видно, что наиболее удовлетворительный результат с точки зрения водоотдачи показала добавка хлорида железа (III) в количестве 3% от массы цемента.

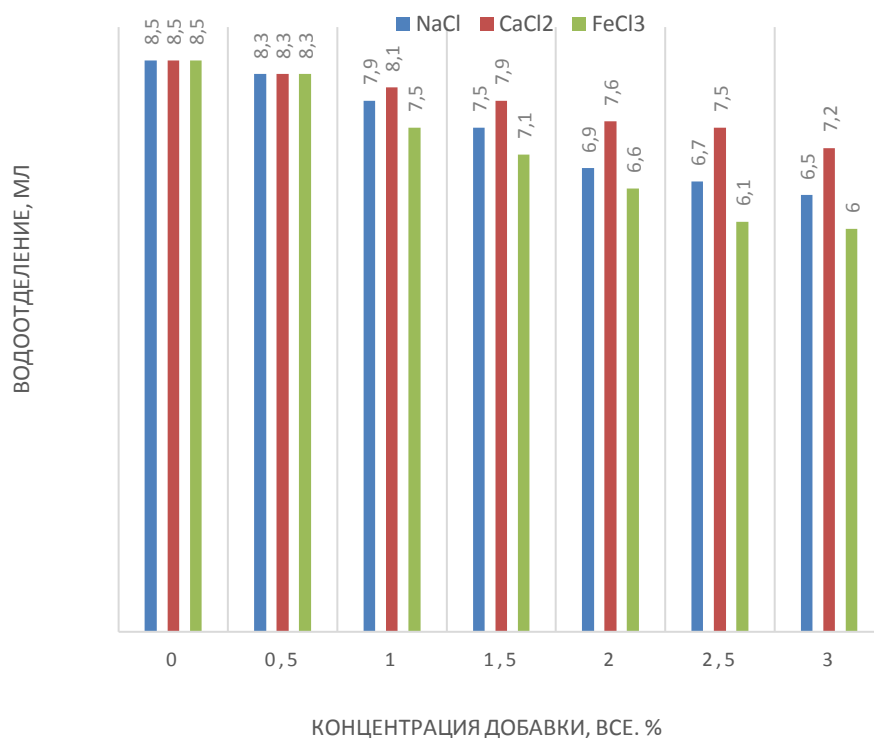


Рис. 2 – Водоотделение раствора в зависимости от концентрации добавки

Одна из важнейших характеристик тампонажных растворов – плотность. Поддержание заданной и равномерной плотности – одно из основных технологических требований [2, С. 429]. Колебания данного показателя свидетельствуют об изменении его водоцементного отношения, что вызывает изменение других его свойств – прокачиваемости, загустевания, прочности и т. п. Слишком большие изменения плотности считаются нарушением технологического режима процесса и могут привести к осложнениям. Уменьшение плотности утяжеленных тампонажных растворов по сравнению с заданной вызывает разжижение раствора, выпадение утяжелителя, выход из строя насосов, образование непродавливаемых пачек из выпавшего утяжелителя в обсадной колонне. Одним из методов получения раствора с плотностью выше нормальной является увеличение плотности жидкости затворения за счет добавок солей (рис. 3).

Введение хлорида кальция в количестве 3% повышает плотность цемента до $1,928 \text{ г/см}^3$, хлорида натрия – до $1,919 \text{ г/см}^3$, хлорида железа (III) – до $1,914 \text{ г/см}^3$.

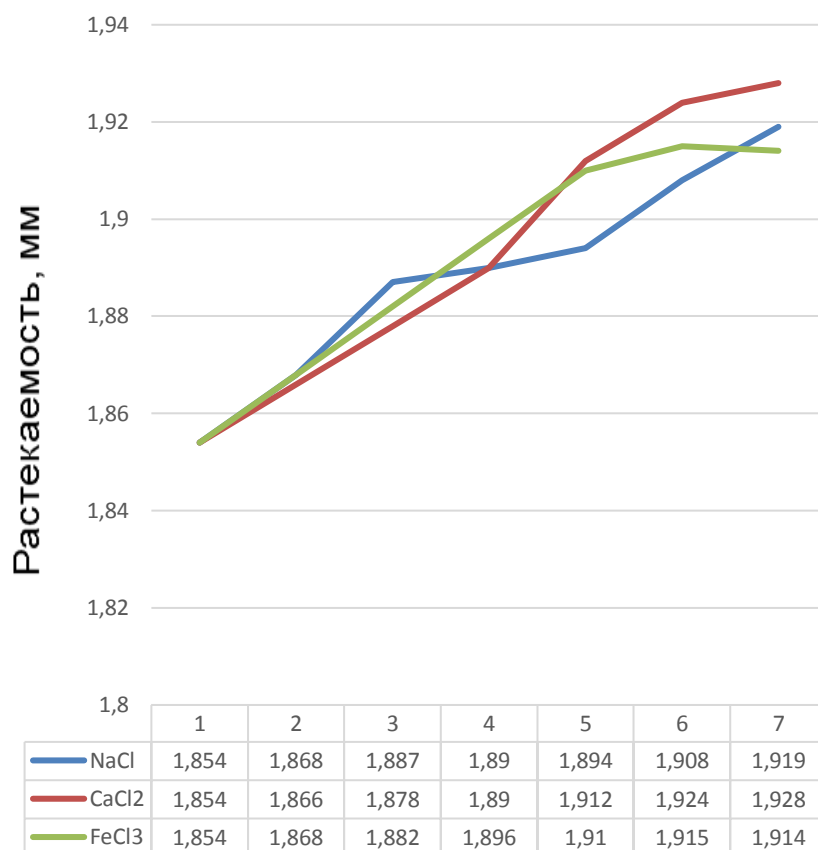


Рис. 3 – Зависимость плотности раствора от концентрации добавки

Известно, что хлорид натрия обеспечивает хорошее сцепление цементного камня с отложениями солей и набухающими глинами [4]. Добавка хлорида натрия в количестве 2% от массы цемента приводит к значительному повышению прочности раствора (рис. 4). Также происходит рост в показателях сцепления цементного кольца со стенками скважины.

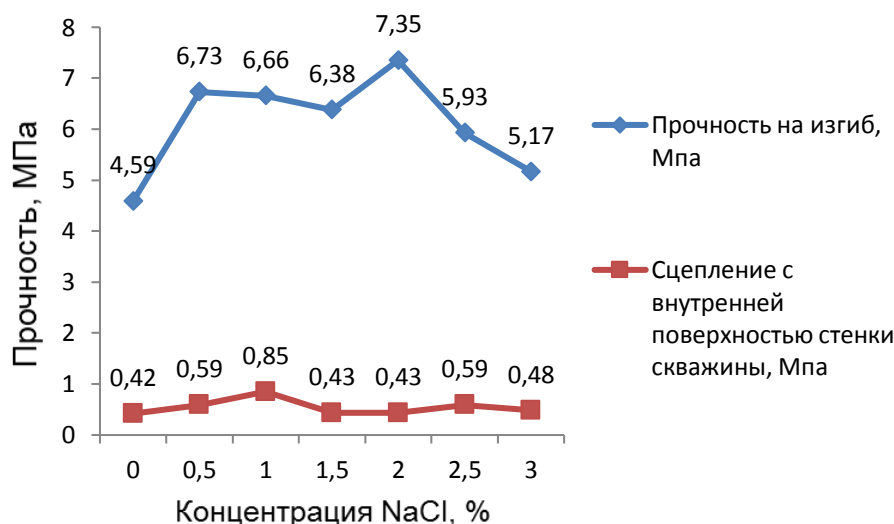


Рис. 4 – Зависимость прочности и сцепления раствора от концентрации хлорида натрия

При твердении цементных растворов при пониженных температурах основной проблемой является снижение скорости твердения. Температура играет важную роль в процессе твердения. Снижение температуры ниже 5 °С существенно замедляет скорость твердения, а при температурах ниже 0 °С твердение может прекратиться из-за замерзания жидкости затворения [1, С. 245].

Применительно к креплению скважин в зонах многолетнемерзлых пород (ММП) это может привести к серьезным последствиям. В частности, в незатвердевшем цементном растворе, находящемся в затрубном пространстве скважины в неподвижном состоянии, могут происходить негативные процессы, основными из которых являются седиментация и водоотделение, нарушающие герметичность затрубного пространства.

Наиболее простой способ, препятствующий замерзанию жидкой фазы и ускорителей схватывания и твердения — это добавление в воду затворения солей. В то же время наличие значительных количеств хлоридов в цементном растворе может привести к коррозии обсадной колонны.

Сравнение времени загустевания тампонажного раствора с добавкой хлорида натрия в количестве 3% от массы цемента и без добавки показывает, что введение хлорида натрия приводит к значительному сокращению времени загустевания. Цементный раствор на основе ПЦТ I-50 при В/Ц, равном 0,5 при температуре 22 °С загустевает при перемешивании в атмосферном консистометре до консистенции 30 единиц по Бердену за 5 часов, в то время как тампонажный раствор затворенный на 3%-ном растворе NaCl достигает консистенции 30 единиц по Вердену за 3 часа 20 минут (рис. 5).

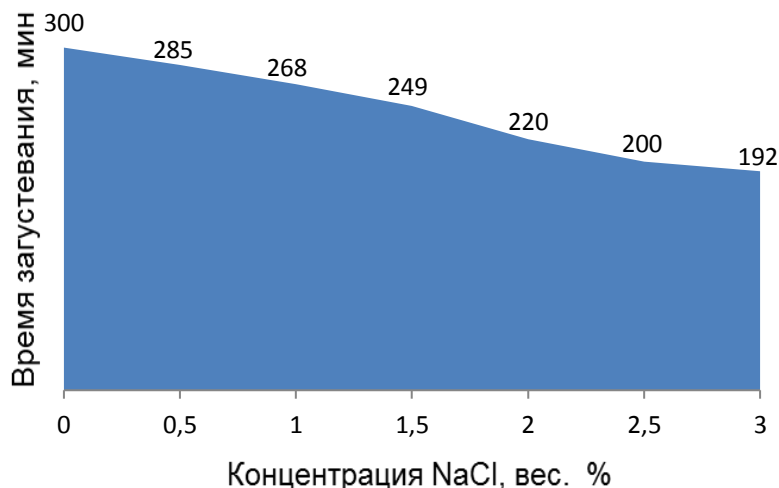


Рис. 5 – Кривая загустевания раствора с добавкой NaCl

Таким образом модификаторы хлориды натрия и кальция следует вводить в раствор при буровых работах, проводимых в условиях низких температур (условия мерзлоты) и при необходимости в увеличенной растекаемости раствора. Целесообразнее применять хлорид натрия в качестве модифицирующей добавки в концентрации 2% от массы цемента, хлорида кальция — в концентрации 3% от массы цемента. Именно в таких содержаниях данные добавки наиболее действенны для поставленных целей.

В случае необходимости увеличения времени загустевания, добавку хлорид натрия следует применять в количестве 3%, учитывая сопутствующие влияния соли на физико-химические свойства раствора.

Модификатор хлорид железа (III) по большей части не выделяется среди двух других солей по влиянию на тампонажный раствор, однако данный модификатор показывает удовлетворительные результаты в качестве понизителя водоотдачи.

Список литературы / References

1. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С., Токунова Э.Ф. Химия тампонажных и промывочных растворов // Недра. — М., 2011. — С. 245.
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные растворы // Недра. — М., 1999. — С. 429.
3. ГОСТ 26798.1-96 «Цементы тампонажные. Методы испытаний» [Электронный ресурс] URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8996/> (дата обращения: 09.07.2017).
4. Исследования и опыт применения тампонажных растворов с добавкой солей хлоридов при цементировании кондукторов на арланском месторождении РБ [Электронный ресурс] URL: <http://novator-ufa.ru/publikacii/29-issledovaniya-i-opyt.html> (дата обращения: 09.07.2017)
5. Овчинников В.П., Аксенова Н.А., Овчинников П.В. Физико-химические процессы твердения, работа в скважине и коррозия цементного камня: Учеб. пособие для вузов // Нефтегазовый университет. — Тюмень, 2007. — С. 369.
6. Перейма А.А. О влиянии химической обработки тампонажных растворов на эффективность действия расширяющих добавок / А.А. Перейма, Ю.С. Минченко, С.Г. Трусков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море — 2011. - №5. — 27 — С. 30.
7. Петров В.С. Регулирование свойств тампонажного раствора — камня с помощью добавок аминотрифосфоновых комплексонов/ В.С. Петров // Нефтегазовое дело — 2012. — №6. — С. 46–52.
8. Регулирование свойств тампонажных растворов с помощью многофункциональных химреагентов /Мариампольский Н.А. и др. //Техника и технология бурения скважин: обз. инф. /ВНИИОЭНГ. М.:1988. С. 62.
9. Самакаев Р.Х., Дытук Л.Т. Применение комплексонов в нефтяной промышленности. //Нефтяное хозяйство. — М., 1995. — С. 25-31.
10. Штэпа И.В. Обоснование и разработка технологии крепления стенок разведочных и технических скважин в сложных условиях методом струйной цементации: дис. канд. тех. наук : 25.00.14 : защищена 29.12.2015 / Штэпа Иван Владиславович. — М., 2002. — С. 215.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agzamov F.A., Izmuhambetov B.S., Tokunova Je.F. Himija tamponazhnyh i promyvochnykh rastvorov [Chemistry of cement and drilling fluids] // Nedra. – М., 2011. – P. 245. [in Russian]
2. Bulatov A.I., Makarenko P.P., Proselkov Ju.M. Burovye promyvochnye rastvory [Drilling washing solutions] // Nedra. – М., 1999. – P. 429. [in Russian]
3. GOST 26798.1-96 «Cementy tamponazhnye. Metody ispytaniy» [Cement grouting. Test methods] [Electronic resource] URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8996/> (accessed: 09.07.2017). [in Russian]
4. Issledovaniya i opyt primeneniya tamponazhnykh rastvorov s dobavkoj solej hloridov pri cementirovanii konduktorov na arlanskom mestorozhdenii RB [Research and experience in the application of cement slurries with the addition of salts of chlorides during cementing of conductors on alaskan field RB] [Electronic resource] URL: <http://novator-ufa.ru/publikacii/29-issledovaniya-i-opyt.html> (accessed: 09.07.2017) [in Russian]
5. Ovchinnikov V.P., Aksenova N.A., Ovchinnikov P.V. Fiziko-himicheskie processy tverdeniya, rabota v skvazhine i korrozija cementnogo kamnja: Ucheb. posobie dlja vuzov [Physico-chemical processes of hardening in the bore and corrosion of cement stone: Proc. manual for schools] // Neftegazovyy universitet. – Tjumen', [Oil and gas University. – Tyumen] 2007. – P. 369. [in Russian]
6. Perejma A.A. O vlijanii himicheskoy obrabotki tamponazhnykh rastvorov na jeffektivnost' dejstviya rasshirjajushhih dobavok [Influence of the chemical processing of cement slurry on the efficiency of expanding additives] / A.A. Perejma, Ju.S. Minchenko, S.G. Trusov // Stroitel'stvo neftjanyh i gazovykh skvazhin na sushe i na more [Construction of oil and gas wells on land and at sea] – 2011. - №5. – 27 – P. 30. [in Russian]
7. Petrov V.S. Regulirovanie svojstv tamponazhnogo rastvora – kamnja s pomoshh'ju dobavok aminometilenfosfonovykh kompleksonov [Regulation of the properties of plugging solution – stone by supplementation of chelating agents aminomethylphosphonic] / V.S. Petrov // Neftegazovoe delo [Oil and gas business]– 2012. – №6. – P. 46–52. [in Russian]
8. Regulirovanie svojstv tamponazhnykh rastvorov s pomoshh'ju mnogofunkcional'nykh himreagentov [Regulation of the properties of cement slurries using multifunctional reagents.] / Mariampol'skij N.A. i dr. // Tehnika i tehnologija bureniya skvazhin: obz. inf. /VNIOJeNG. [Technique and technology of well drilling: a review. INF. /VNIOENG] М.:1988. P. 62. [in Russian]
9. Samakaev R.H., Dytjuk L.T. Primenenie kompleksonov v neftjanoy promyshlennosti. //Neftjanoe hozjajstvo. [The use of chelating agents in the oil industry. //Oil industry] – М., 1995. – P. 25-31. [in Russian]
10. Shtjepa I.V. Obosnovanie i razrabotka tehnologii krepleniya stenok razvedochnykh i tehicheskikh skvazhin v slozhnykh uslovijah metodom strujnoj cementacii: dis. kand. teh. nauk : 25.00.14 : zashhishhena 29.12.2015 [Substantiation and development of technology of fixing of the walls and technical exploration wells in difficult conditions by the method of jet grouting: dis. Cand. technical Sciences : 25.00.14 : protected 29.12.2015] / Shtjepa Ivan Vladislavovich. – М., 2002. – P. 215. [in Russian]



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: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.087>Саушев А.В.¹, Широков Н.В.², Давыдов В.С.³, Шерстнев Д.А.⁴¹Доктор технических наук, ²Кандидат технических наук,³аспирант, ⁴аспирант,

Государственный университет морского и речного флота (ГУМРФ) имени адмирала С.О. Макарова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕПРЕРЫВНОГО ПОИСКА ЕЕ ГРАНИЧНЫХ ТОЧЕК**Аннотация**

Рассмотрены способы поиска граничных точек области работоспособности применительно к техническим системам. Изложен метод секущих, предполагающий непрерывную процедуру поиска. Рассмотрен алгоритм, позволяющий расширить сферу применения метода секущих, а также повысить эффективность поиска за счет анализа не всей, а лишь ограниченной части секущей, определяемой самой областью работоспособности. Приведены количественные оценки разработанного алгоритма. Рассмотрены вероятностные характеристики метода секущих и дана оценка области его применения. Результаты исследования подтверждены примерами практической реализации метода применительно к электротехническим системам.

Ключевые слова: область работоспособности, техническая система, метод секущих, вероятностные характеристики.

Saushev A.V.¹, Shyrokov N.V.², Davydov V.S.³, Sherstnev D.A.⁴¹PhD in Engineering, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,²PhD in Engineering, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,³Postgraduate Student, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,⁴Postgraduate Student, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping**DEFINITION OF THE FIELD OF WORKING CAPACITY ON THE BASIS OF ALGORITHM OF CONTINUOUS SEARCHING OF ITS BORDER POINTS****Abstract**

The article considers the ways of finding boundary points of the field of working capacity for technical systems. The secant method is described, assuming a continuous search procedure. An algorithm that allows expanding the sphere of application of the secant method is considered, as well as improving the search efficiency due to the analysis of a limited part of the secant, determined by the field of the working capacity itself. Quantitative estimates of the developed algorithm are given. The probabilistic characteristics of the secant method are considered and the evaluation of the area of its application is given. The results of the study are confirmed by the examples of practical implementation of the method applied to electrical systems.

Keywords: field of working capacity, technical system, secant method, probabilistic characteristics.

Для решения задач параметрического синтеза и контроля состояния большинства технических систем требуется информация о границе области работоспособности системы [1, С. 41], [2], [3]. Для получения такой информации в виде множества граничных точек области работоспособности принципиально можно воспользоваться двумя подходами. Первый из них предполагает дискретный поиск координат граничных точек области работоспособности. Для их определения разработаны сеточные методы, основанные на обходе области работоспособности по ее контуру [4], [5]. Второй подход основан на непрерывном способе поиска граничных точек. Для этой цели разработаны метод 2ⁿ-звезды и метод секущих [6, С. 106]. В обоих случаях возможны два варианта – когда отсутствует математическая зависимость, связывающая выходные переменные **Y** объекта исследования с варьируемыми (первичными) параметрами $\mathbf{X}=\{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}$, $i=1, 2, \dots, n$, в пространстве которых строится область работоспособности, и когда такая зависимость имеется.

В настоящей статье рассматривается второй подход к решению задачи, устанавливается область его использования, возможные методы и алгоритмы его реализации. Под областью работоспособности понимается множество значений первичных параметров системы, при которых удовлетворяются все заданные требования к ее выходным параметрам. Для электротехнических систем к первичным параметрам относятся сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, индуктивности катушек, коэффициенты жесткости упругих связей, моменты инерции, коэффициенты усиления, постоянные времени и т.п., а выходными переменными, например, могут быть показатели качества работы системы – коэффициент полезного действия, время переходного процесса и максимальное перерегулирование исследуемой переменной, интегральный критерий качества.

При отсутствии уравнения, связывающего первичные и выходные параметры системы, на практике находит применение метод секущих [6, С. 106].

При использовании этого метода из начала координат в пространстве первичных параметров проводится r ($r = 1, 2, \dots$) прямых линий. Каждая прямая в пространстве R^n первичных параметров \mathbf{X} может быть задана в параметрическом виде: $\mathbf{X}'_{ir} = \mathbf{X}_{ir} \tau$, где X_{ir} – r -е численное значение i -го первичного параметра (направляющий коэффициент r -й прямой), τ – множитель ($\tau \in \{0, \infty\}$). Известный алгоритм, реализующий метод секущих, может быть использован лишь при условии, что область **M** (является отображением допусковой области пространства выходных переменных системы **Y** в пространство первичных параметров **X**) целиком принадлежит области **P** (определяет допустимые пределы изменения первичных параметров), либо примыкает к грани этой области и расположена относительно нее так, как показано на Рис. 1а. В остальных случаях (Рис. 1б, в) алгоритм неработоспособен.

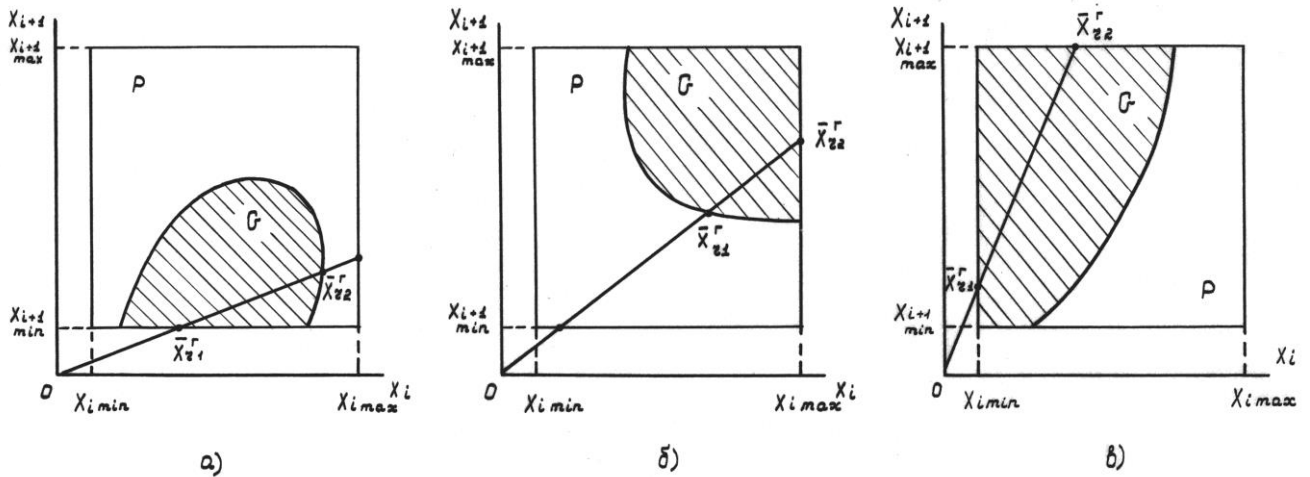


Рис. 1 – Возможные варианты пересечения секущей области работоспособности

Рассмотрим алгоритм, устраняющий этот недостаток и предполагающий подсчет числа пересечений области работоспособности r -й секущей. Если их число S равно 2μ , где $\mu = 1, 2, 3, K$, т.е. число пересечений равно четному числу, то секущая полностью определяет граничные точки. В том случае, если $S = 2\mu - 1$ (число пересечений равно нечетному числу), происходит фиксация точки, принадлежащей грани области **P**. Существенным недостатком известного алгоритма является его низкое быстродействие, определяемое двумя причинами. Одной из них является то, что поиск граничных точек каждой секущей продолжается равное число шагов k до тех пор, пока длина отрезка $\Delta\tau k$ не достигнет величины l , где $\Delta\tau$ – шаг квантования секущей, l – длина наибольшей диагонали области **P**. Вместе с тем, анализ показывает, что нет необходимости в поиске граничных точек за пределами области **P**.

Другой причиной являются затраты времени на проверку условий работоспособности в начальных точках секущей, до пересечения с областью **P**. Для снижения затрат времени следует предварительно исследовать каждую точку r -й секущей на ее принадлежность области **P**.

Эффективность алгоритма также зависит от формы области работоспособности. Если область работоспособности является выпуклой, то можно ускорить процесс определения ее граничных точек за счет исключения из рассмотрения части секущей за пределами области **P**, после ее пересечения очередной секущей. Снижение затрат времени на определение граничных точек области работоспособности при использовании разработанного алгоритма можно оценить по формуле:

$$T_G/T_{GM} = k_1(t_1 + t_2)/k_2(\alpha t_1 + t_2), \quad (1)$$

где t_1 и t_2 – время, затрачиваемое соответственно на проверку заданных условий работоспособности и на переход к следующей исследуемой точке; k_1 и k_2 – число шагов, затрачиваемых соответственно на определение граничных точек согласно известному и рассматриваемому алгоритмам; $\alpha \in (0, 1]$.

Предположим, что процесс поиска граничных точек носит равновероятный характер, т.е. секущие проводятся равномерно по всему объему области **P**, параметр $\alpha = 1$, а сама область **P** имеет форму гиперкуба с ребром, равным h . Данные предположения позволяют оценить нижнюю границу снижения временных затрат. Исходя из принятых предположений и учитывая, что наибольшая диагональ гиперкуба $l = h\sqrt{n} = k\Delta\tau\sqrt{n}$, формула (1) примет следующий вид: $T_G/T_{GM} = 2\sqrt{n}/(\sqrt{n} + 1)$. Для двух первичных параметров $n=2$. При этом $T_G/T_{GM} \approx 1,17$, т.е. быстродействие процесса определения границы области работоспособности повышается в 1,17 раза. При $n \rightarrow \infty$ $T_G/T_{GM} \rightarrow 2$. Таким образом, нижняя граница относительного повышения быстродействия рассматриваемого алгоритма по сравнению с известным алгоритмом находится в пределах $T_G/T_{GM} = [1,17; 2]$ при $n \in [2, \infty]$.

Основные достоинства метода секущих имеют место при известной математической зависимости $Y_j = F_j(\mathbf{X})$. При этом на эффективность метода существенное влияние оказывает вид функции $F_j(\mathbf{X})$. Как показано в работе [4, С. 153], достаточно часто вид такой зависимости имеет форму полинома. Пусть $n=2$ и уравнение $Y_j = F_j(\mathbf{X})$ имеет вид $Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_2$, где b_1, b_2, b_3 – постоянные коэффициенты. Подставляя значения $X_1 = X'_1\tau$, $X_2 = X'_2\tau$ в это уравнение и решая его относительно τ , получим уравнение $b_3X'_1 + X'_2\tau^2(b_1X'_1 + b_2X'_2)\tau - Y = 0$. Решение этого уравнения для предельных значений выходного параметра $Y = Y_{\min}$ и $Y = Y_{\max}$, определяет граничные значения τ_{\min}^r , τ_{\max}^r .

Рассмотрим вероятностные характеристики поиска граничных точек области работоспособности непрерывными методами. Процесс поиска определяется рядом случайных факторов и может быть принят случайным [7]. К числу таких случайных факторов относятся расположение области работоспособности **G** относительно области **P**, ее размер

и форма на момент построения границы, способность измерительных приборов фиксировать граничные значения первичных параметров в заданных условиях.

При использовании метода секущих случайным фактором будет также выбор направляющих углов секущей. Пусть в момент времени t проводится секущая α , имеющая направляющие коэффициенты $\mathbf{X}_{i1} = (X_{11}, X_{21}, \dots, X_{i1}, \dots, X_{n1})$, а в момент времени $(t+\Delta t)$ – секущая β , имеющая направляющие коэффициенты $\mathbf{X}_{i2} = (X_{12}, X_{22}, \dots, X_{i2}, \dots, X_{n2})$. Вероятность того, что в момент времени $(t+\Delta t)$ проводится секущая α , определяется только событием наличия в момент времени t секущей β , и не зависит от того, каким образом были выбраны эти коэффициенты. Поскольку переход от одного направляющего коэффициента к другому осуществляется скачком в любой момент времени, то процесс поиска граничных точек области работоспособности методом секущих можно отнести к марковским процессам с дискретными состояниями и непрерывным временем. Поток обнаружений этого процесса характеризует последовательность пересечений или касаний области работоспособности секущими и является стационарно пуассоновским.

Для определения вероятности $P_N(r)$ того, что из N секущих лишь r из них пересекут или коснутся области работоспособности, введем вероятность g пересечения или касания одной секущей этой области. Эта вероятность g будет равна отношению обозреваемой из начала координат поверхности S_G области работоспособности \mathbf{G} к обозреваемой из начала координат поверхности S_P исследуемой допусковой области \mathbf{P} , т. е. $g = S_G / S_P$.

Вероятность P события, что будет зафиксировано пересечение или касание секущей области работоспособности, определяется выражением $P = d_u g$, где d_u – инструментальная достоверность, определяемая классом точности используемых приборов при проведении натурного эксперимента, служащих для измерения выходных параметров, и точностью фиксации граничных значений первичных параметров. В соответствии с условиями отсутствия последствия обзор поверхности S_P можно рассматривать как серию из r независимых испытаний. Следовательно, для дальнейшего анализа можно воспользоваться теоремой о повторении опытов, согласно которой вероятность $P_N^*(r)$ того, что среди N секущих ровно r секущих пересекут или коснутся области работоспособности \mathbf{G} , определяется по формуле $P_N^*(r) = C_N^r P^r (1-P)^{N-r}$, где N – общее число секущих или циклов определения границы области работоспособности.

Вероятность того, что секущая не пересечет или не коснется области работоспособности, определяется по формуле $P_N(0) = \exp(-NP)$. Вероятность того, что секущие пересекут область работоспособности или коснутся ее хотя бы один раз, равна $P_N(r \geq 1) = 1 - \exp(-NP)$ [6, С. 123].

Предположим, что время, затрачиваемое на r -й цикл определения граничных точек (время проведения r -й секущей), равно $T_{цr}$. Тогда для того, чтобы секущие пересекали область работоспособности с вероятностью $P_N(r \geq 1)$ необходимо выполнить N циклов, на которые потребуется затратить время $T_{\Pi} = \sum_{r=1}^N T_{цr}$. При условии, что

$$T_{ц1} = T_{ц2} = \dots = T_{цN} = T_{ц} \text{ получим } T_{\Pi} = NT_{ц}.$$

Заметим, что в предложенном алгоритме реальное время T_{Π} может быть существенно меньше расчетного. Это обусловлено тем, что при обнаружении последней для r -й секущей граничной точки области работоспособности процесс поиска прекращается. Таким образом, для расчетного значения вероятности $P_N(r \geq 1)$ можно записать $P_N(r \geq 1) = 1 - \exp(-T_{\Pi} P / T_0) = 1 - \exp(-\eta T_{\Pi})$, где: $\eta = P / T_{ц}$; T_{Π} – время определения границы области работоспособности. При этом вероятность $P_N(r \geq 1)$ определится следующим выражением

$$P_N(r \geq 1) = P_N(1) + P_N(2) + \dots = \sum_{r=1}^N P_N(r) \quad (2)$$

Полученные формулы позволяют оценить эффективность предложенного алгоритма, реализующего метод секущих. Алгоритм был реализован при решении задач параметрического управления состоянием электротехнических систем на объектах водного транспорта [1], [8], [9], [10]. На его основе разработаны технические устройства, позволяющие автоматизировать процесс поиска граничных точек области работоспособности методом секущих.

Список литературы / References

1. Саушев А. В. Основы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта / А. В. Саушев // СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2015. – 215 с.
2. Саушев А. В. Метод построения границы области работоспособности электротехнических объектов / А. В. Саушев // Электричество. – 1990. – № 4. – С. 14 – 19.
3. Саушев А. В. Математическое описание областей работоспособности электромеханических систем / А. В. Саушев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – №6(147). – С. 7 – 13.
4. Саушев А. В. Сеточный метод построения областей работоспособности технических объектов на основе алгоритма симплексного поиска / А. В. Саушев // Журнал СПГУВК. 2010. Вып. 1 (5). – С. 58 – 69.
5. Саушев А. В. Построение областей работоспособности технических систем водного транспорта на основе алгоритмов дискретного поиска / А. В. Саушев // Речной транспорт (21 век). 2012. – № 2. С. 69 – 74.
6. Саушев, А. В. Области работоспособности электротехнических систем: монография / А. В. Саушев. – СПб.: Политехника, 2013. – 412 с.

7. Саушев А. В. Статистические методы параметрического синтеза электротехнических систем по критерию запаса работоспособности / А. В. Саушев // Журнал СПГУВК. – 2011. – Вып. 4 (12). – С. 49 – 57.
8. Саушев А. В. Методы и алгоритмы параметрического синтеза технических систем на основе областей работоспособности / А. В. Саушев // Международный научно-исследовательский журнал International research journal. – 2016. – № 5 (47), часть 3. – С. 167 – 168.
9. Саушев А. В. Параметрический синтез технических систем на основе линейной аппроксимации области работоспособности / А. В. Саушев // Автометрия. – 2013. – Т.49, № 1. – С. 61–67.
10. Саушев А. В. Диагностирование состояния электротехнических систем в пространстве параметров их элементов / А. В. Саушев, Н. В. Широков // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2016. – Вып. 2 (36). – С. 143 – 156.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Saushev A. V. Osnovy upravleniya sostojaniem jelektrotehnicheskikh sistem ob#ektov vodnogo transporta [Bases of management of a condition of electrotechnical systems of objects of the water transport] / A. V. Saushev // SPb.: GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2015, 215 P [in Russian]
2. Saushev A. V. Metod postroenija granicy oblasti rabotosposobnosti jelektrotehnicheskikh ob#ektov [Method of creation of border of area of operability of electrotechnical objects] / A. V. Saushev // Jelektrichestvo [Electricity]. 1990. № 4. .P. 14-19. [in Russian]
3. Saushev A. V. Matematicheskoe opisanie oblastej rabotosposobnosti jelektromehaničeskikh sistem [Mathematical description of areas of operability of electromechanical systems] / A. V. Saushev // Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie [Mechatronics, automation, management]. 2013. № 6 (147). .P. 713. [in Russian]
4. Saushev A. V. Setochnyj metod postroenija oblastej rabotosposobnosti tehničeskikh ob#ektov na osnove algoritma simpleksnogo poiska [A net method of creation of areas of operability of technical objects on the basis of an algorithm of simplex search] / A. V. Saushev // Zhurnal SPGUVK [the SPGUVK Magazine]. 2010. Vyp. 1 (5) .P. 5869. [in Russian]
5. Saushev A. V. ostroenie oblastej rabotosposobnosti tehničeskikh sistem vodnogo transporta na osnove algoritmov diskretnogo poiska [Creation of areas of operability of technical systems of the water transport on the basis of algorithms of discrete search] / A. V. Saushev // Rečnoj transport (21 vek) [River transport (the 21st century)]. 2012. № 2. .P. 6974. [in Russian]
6. Saushev, A. V. Oblasti rabotosposobnosti jelektrotehnicheskikh sistem / A. V. Saushev. - SPb.: Politehnika, 2013, 412 P [in Russian]
7. Saushev A. V. Statisticheskie metody parametriceskogo sinteza jelektrotehnicheskikh sistem po kriteriju zapasa rabotosposobnosti [Statistical methods of parametrical synthesis of electrotechnical systems by criterion of a stock of working capacity] / A. V. Saushev // Zhurnal SPGUVK [the SPGUVK Magazine]. 2011. Vyp. 4 (12). .P. 4957. [in Russian]
8. Saushev A. V. Metody i algoritmy parametriceskogo sinteza tehničeskikh sistem na osnove oblastej rabotosposobnosti [Methods and algorithms of parametrical synthesis of technical systems on the basis of areas of working capacity] / A. V. Saushev // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 2016. – № 5 (47), chast' 3. .P. 167168. [in Russian]
9. Saushev A. V. Parametriceskij sintez tehničeskikh sistem na osnove linejnoj approksimacii oblasti rabotosposobnosti [Parametrical synthesis of technical systems on the basis of linear approximation of area of working capacity] / A. V. Saushev // Avtometrija [Avtometriya]. 2013. T.49, № 1. P. 6167. [in Russian]
10. Saushev A. V. Diagnostirovanie sostojanija jelektrotehnicheskikh sistem v prostranstve parametrov ih jelementov [Diagnosing of a condition of electrotechnical systems in space of parameters of their elements] / A. V. Saushev, N. V. Shirokov // Vestnik GUMRF im. adm. S.O. Makarova [the Messenger of GUMRF of atm. S.O. Makarova]. 2016. Vyp. 2 (36). P. 143156. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.064>

Сеидов. В.М.

Доктор технических наук, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г.Баку

СОСТАВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ МЕТОДАМИ ГИС НАД РАЗРАБОТКОЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**Аннотация**

Развитие нефтяной промышленности сопровождается последовательным увеличением добычи нефти и эксплуатационного фонда скважин. В скважинах, находящихся длительное время в разработке увеличивается доля обводненных пластов вследствие роста числа месторождений. В этих условиях значительно возрастает потребность в оперативной и систематизированной информации, необходимой для проведения геолого-технических мероприятий и управления процессами разработки нефтяных залежей, которую получают в результате геофизических исследований скважин (ГИС) в процессе их эксплуатации. Лишь геофизические методы позволяют исследовать продуктивный разрез скважины.

Для рациональной разработки месторождения и для детального изучения прогнозирования его характерных особенностей специалистами разработаны многочисленные модели. Следует отметить, что моделирование контроля методами ГИС за процессом разработки месторождения встречается очень редко. Предложена следующая последовательность составления модели: сбор первичных материалов о коллекторе - пластов, изучение связи между геолого-геофизическими и петрофизическими параметрами пород, математическое представление модели, определение основных показателей разработки месторождения, сбор дополнительной информации о месторождении и т.д.

Ключевые слова: разработка, месторождения, скважина, модели, базы данных, геофизика, нейронной сети.

Seidov V.M.

ORCID: 25.00.10, PhD in Engineering, Azerbaijan State Oil and Industrial University, Baku

CREATING A RATIONAL MODEL OF CONTROL METHODS OF GEO-PHYSICAL WELL LOGGING OVER THE DEVELOPMENT OF OIL AND GAS DEPOSITS**Abstract**

The development of the oil industry is accompanied by gradual increase in oil production and the operating well stock. The share of watered reservoirs in wells that are in development for a long time is increasing due to the rise in the number of deposits. Under these conditions, there is a significant increase in the need for operational and systematic information necessary for the implementation of geological and technical measures and management of the development of oil deposits, which are obtained as a result of geo-physical well logging during their operation. Only geo-physical methods allow investigating the productive section of the well.

Specialists developed numerous models for the rational development of the deposit and for a detailed study of the forecasting of its characteristic features. It should be noted that the modeling of geo-physical well logging control over the process of deposit development is very rare. The following sequence of the mode is suggested: Collection of primary materials on collector layer, study of the relationship between geological, geo-physical and petrophysical rock parameters, mathematical representation of the model, determination of the main indices of the location development collecting additional information about the place of birth, etc.

Keywords: development of the deposit, well, models, databases, geophysics, neural networks.

Промышленные значения нефтегазовых месторождений определяются не только запасами объёмов нефти, также принимается во внимание экономическая обстановка в мире. В настоящее время компании, добывающие нефть, переживают период, когда они не занимаются разработкой экономически нецелесообразных месторождений. В связи с этим нефтяные компании, используя новейшую технику и технологии, защищают себя от излишних затрат. Для получения желаемых результатов на месторождениях они используют различные подходы [3].

Для рациональной эксплуатации месторождений, изучения их особенностей строения и для будущего прогноза учёнными составлены многочисленные геологические и гидродинамические модели, которые совершенствуются постоянно.

Составлением моделей в следующей последовательности достигается желаемый эффект: а) изучение петрофизических параметров, качественно изменяющихся в результате разработки нефтегазовых месторождений; б) сбор информации, отражающей геолого-геофизические и эксплуатационные данные, изменяющиеся в результате эксплуатации месторождений; в) сбор базовой информации, полностью отражающей разработки нефтегазовых месторождений; г) с учетом данных ГИС повышение эффективности составления моделей разработки нефтегазовых месторождений.

Имеется функциональная зависимость петрофизических величин от геофизических. При оценке степени повторяемости этих величин в вопросах изучения геологических особенностей получим первичное уравнение, которое будет применяться при составлении модели контроля геофизическими методами над разработкой нефтегазовых месторождений [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{пл}, K_n, K_{пр}, K_n = f(\alpha_{ПС}, J_\gamma, J_{н\gamma}, J_{нн}, \alpha_{с/р}, \epsilon_{ДК}, T, \Delta t) \\ C_z, C_{мне} = f(\rho_{пл}, \epsilon_{ДК}, \alpha_{ПС}, J_\gamma, J_{н\gamma}, J_{ннн}) \\ K_{н.от} = f(Q_0, Q_{прем.}) \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P'_{пл}, K_n, K'_{прос}, K'_n = f\left(\alpha'_{ПС}, J'_{\gamma}, J'_{n\gamma}, J'_{\gamma\gamma}, J'_{ИИHK}, \alpha'_{с/п}, \varepsilon'_{DK}, T', \Delta t'\right) \\ C_z, C'_{минз} = f\left(\rho'_{пл}, \varepsilon'_{DK}, \alpha'_{ПС}, J'_{\gamma}, J'_{n\gamma}, J'_{ИИHK}\right) \\ K'_{н.от} = f\left(Q'_{\delta}, Q'_{прем.}\right) \end{array} \right. \quad (2)$$

В этой модели важную роль играет материальный баланс [1,2]. Для удовлетворения уравнения, отражающего материальный баланс пород, сумма компонентов породы принимается за единицу:

$$\left\{ \begin{aligned} \delta &= \delta_0 k_0 + \delta_1 k_1 + \cdots + \delta_j k_j + \cdots + \delta_n k_n \\ \Delta t &= \Delta_{t_0} k_0 + \Delta_{t_1} k_1 + \Delta_{t_j} k_j + \cdots + \Delta_{t_n} k_n \\ \omega &= \omega_0 k_0 + \omega_1 k_1 + \cdots + \omega_j k_j + \cdots + \omega_n k_n \\ \gamma &= \gamma_0 k_0 + \gamma_1 k_1 + \cdots + \gamma_j k_j + \cdots + \gamma_n k_n \\ \rho &= \rho_0 k_0 + \rho_1 k_1 + \cdots + \rho_j k_j + \cdots + \rho_n k_n \\ &\dots\dots\dots \\ 1 &= k_0 + k_1 + \cdots + k_j + \cdots + k_n \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Где, $\delta_0, \dots, \delta_j, \dots, \delta_n$ - плотности пород; $\Delta t_0, \dots, \Delta t_j, \dots, \Delta t_n$ - интервалы времени; $\omega_0, \dots, \omega_j, \dots, \omega_n$ - водородные индексы; $\gamma_0, \dots, \gamma_j, \dots, \gamma_n$ - естественные гамма активности; $\rho_0, \dots, \rho_j, \dots, \rho_n$ - удельные сопротивления породы; K_0 - коэффициент пористости; K_j, \dots, K_n - компоненты составляющие породу.

Таким образом, при измерениях и опытных работах влияние неопределенных факторов на величину количества создаёт условия линейности этих величин:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{U}_t = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_j \tilde{X}_j, t=1, \bar{m} \\ 1 = \sum_{j=1}^n \tilde{X}_j \end{array} \right. \quad (4)$$

Получение ожидаемых результатов требует решения нижеследующих нелинейных уравнений [4]:

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{k}_{ij} \tilde{X}_j \quad i = 1, \bar{m} \quad (5)$$

Здесь, j – номер изучаемых компонентов пород; i – номер соответствующих физических величин; \tilde{U}_i – физические особенности породы, изученные геофизическими методами; \tilde{k}_{ij} – пористость изучаемой породы; \tilde{X}_j – масса породы. Такие нелинейные уравнения решаются с использованием теории множеств нелинейности и нейронной сети (НС). При решении этих систем уравнений с помощью НС, сигналом входа в сеть принимаются коэффициенты \tilde{a}_{ij} , а сигналом выхода величины \tilde{U}_i . Нелинейные переменные бывают в форме треугольника и создают условия для сложения неизвестного числа X_j . Сеть величин неизвестного X_j определяется «обучением». При «обучении»

Достоверность модели пласта повышается в том случае, если на карте отражающей проводимость строятся на основе скважинных данных, или же анализы керновых материалов. Если при построении модели данные дебита и объём нефти и газа, который определяется в образце, добавляются данные геофизических материалов, повышается точность модели. В этом случае, наличие газа, насыщенность, твёрдость и данные о степени сжатия флюида, должны приниматься во внимание. Нужно отметить, что в большинстве случаев при построении модели нельзя принимать во внимание всю информацию, потому что только с помощью геологических, геофизических карт, построенных на известных материалах, можно определить точность информации. Поэтому интерпретация дополнительной информации позволяет построить модель более информативную. Например: при геологической, петрофизической информации, при разделении и их интерпретации можно использовать керновые данные. Анализ кернов позволяет уточнить характеристики: проницаемость, проводимость, капиллярное давление и насыщенность пласта при построении модели.

Взятые образцы керна продуктивной толщи полностью не характеризуют её, позволяют лишь определить размеры зёрен керна, их состав, последовательность, осадконакопление и время седиментации (биомиграция, цементирование, диагенез).

Работа может считаться законченной в том случае, если используются эмпирические связи скважинных наблюдений. Необходимо повысить точность информации, используя взаимные связи. Такая иерархия может быть получена в результате погрешностей, допущенных при измерениях.

Схема модели контроля методами ГИС над разработкой нефтегазовых месторождений дается на рис. 1.

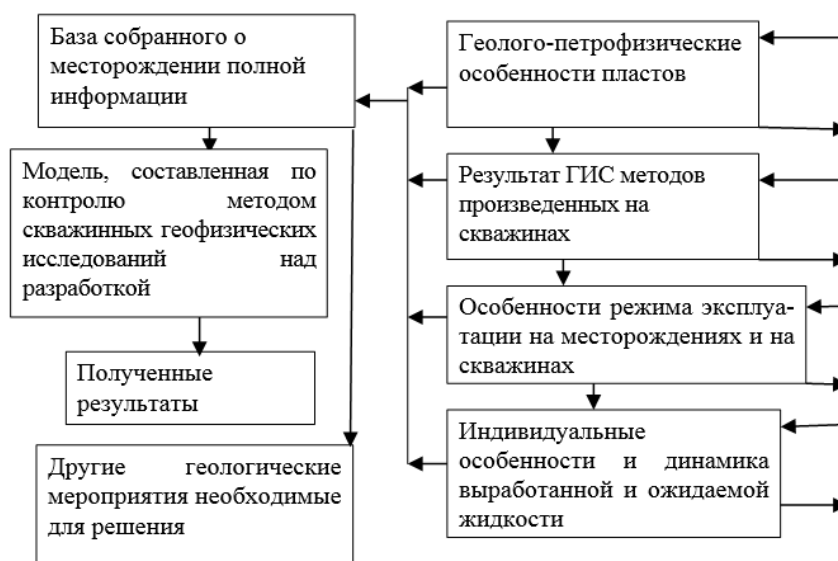
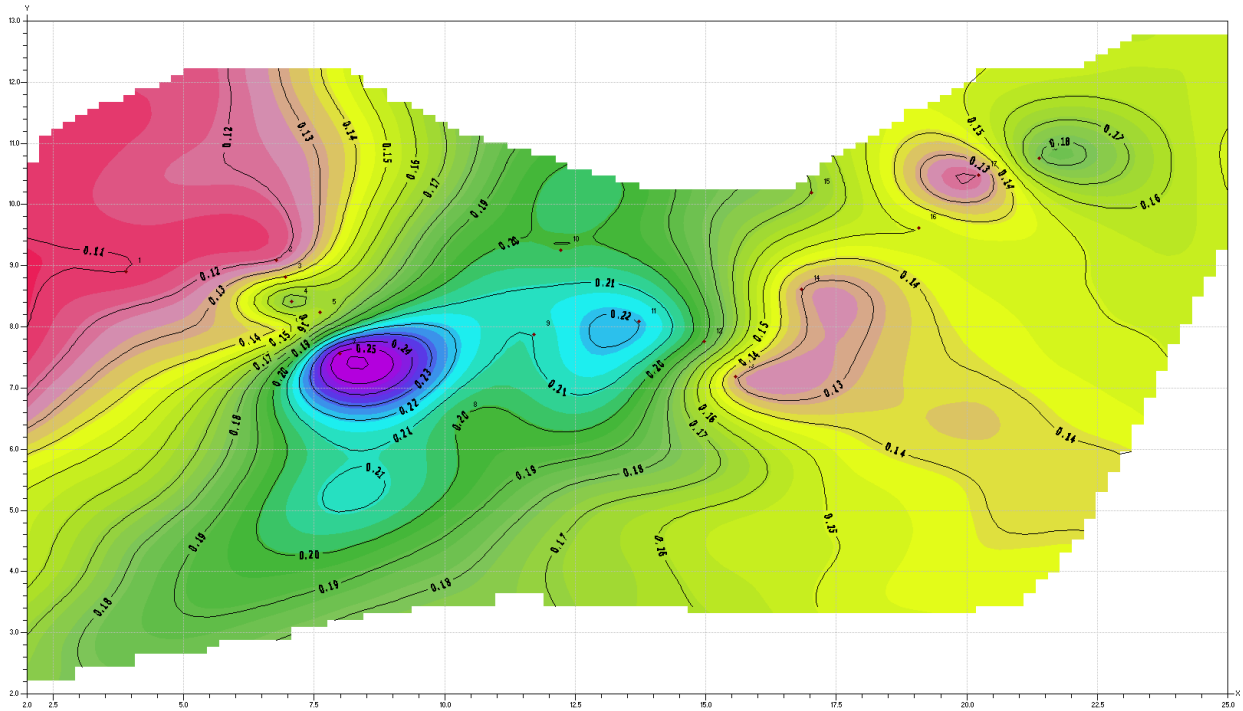
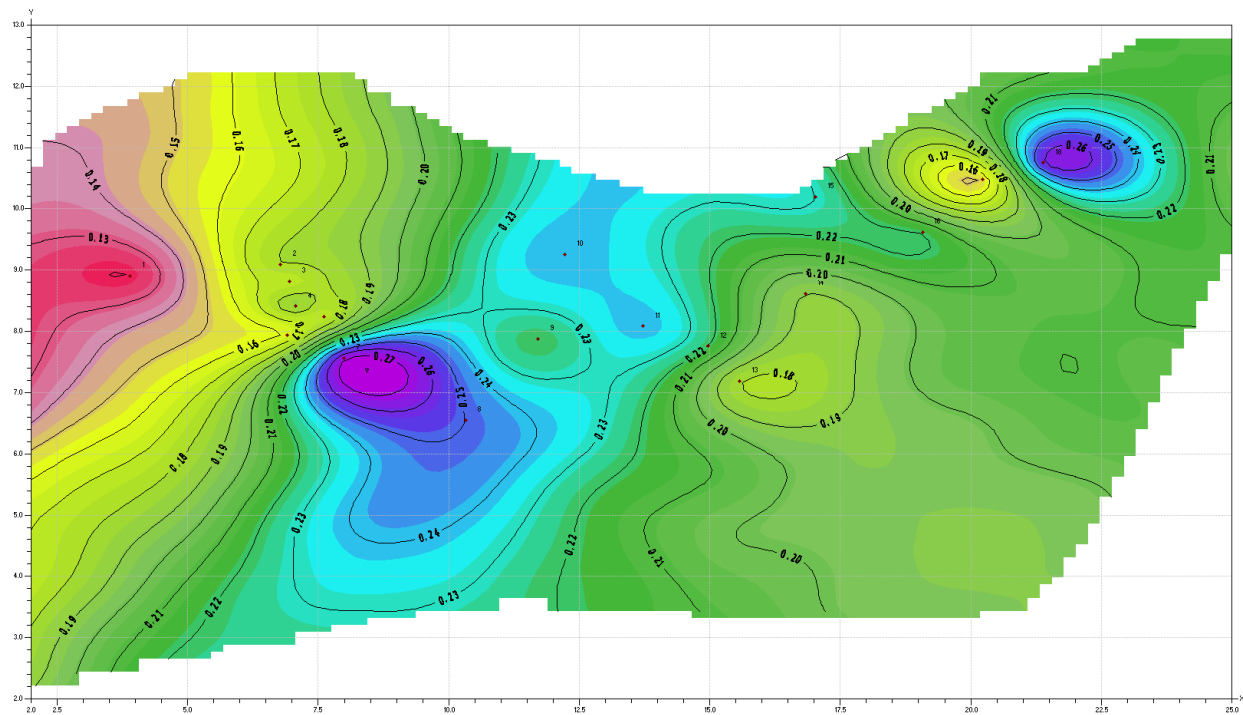


Рис. 1 – Схема модели составленной для контроля геофизическими методами исследований для разработки месторождения

На рис.2 приводится пример изменения петрофизических параметров при контроле методами ГИС над разработкой месторождений в модели ((а (первичный), б (текущий), в (разница)).

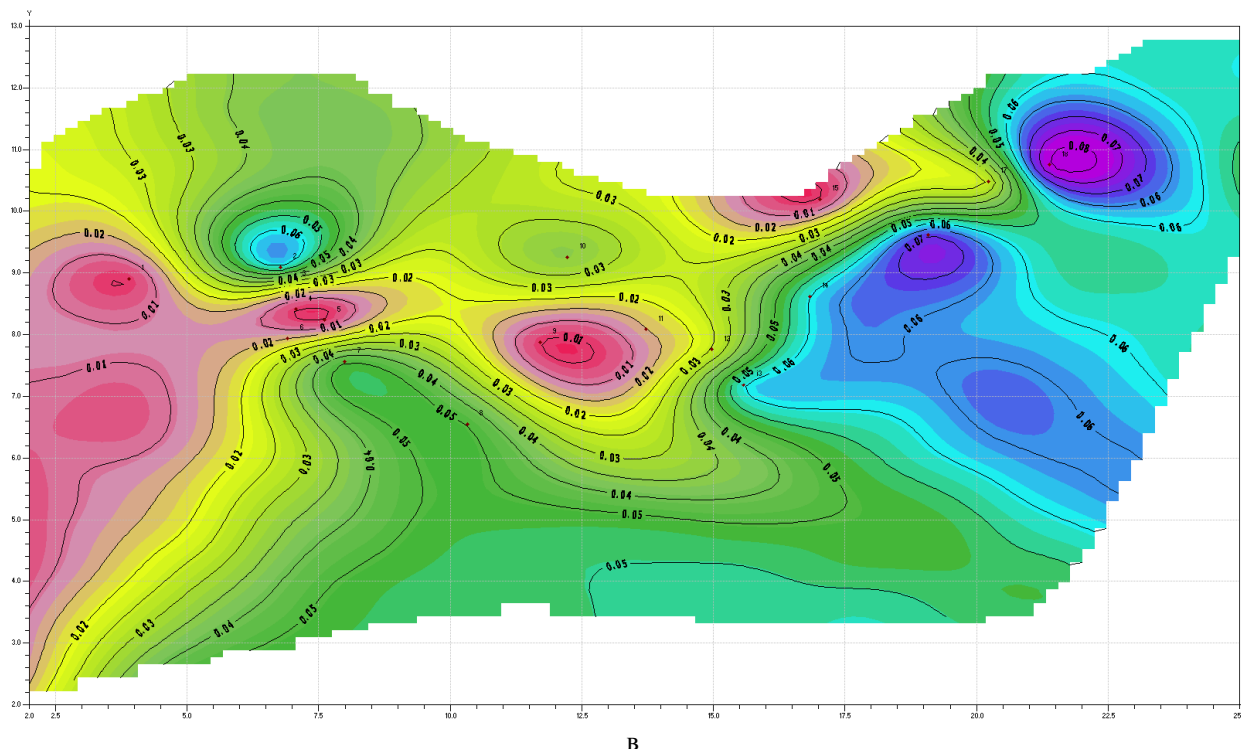


а



б

Рис. 2 – Выслеживание изменений проницаемости пород по моделям:
а - первичный; б - текущий; в - разница.



Окончание рис. 2 – Выслеживание изменений проницаемости пород по моделям:
а - первичный; б - текущий; в - разница.

Заключение

Определена последовательность составления модели контроля методами ГИС над разработкой нефтегазовых месторождений. Решена система линейных и нелинейных уравнений, составляющих основу модели, а также составлена и обоснована блок-схема модели.

Предложенная модель играет важную роль при разработке нефтегазовых месторождений. При этом до и после разработки определяются петрофизические параметры пород, затем они сравниваются, а затем составляется карта частоты распространения этих параметров по площади. Это способствует выбору оптимального режима работ и дает возможность максимально добывать углеводороды из разрабатываемых месторождений, а также это позволяет минимизировать расход времени и финансовые затраты.

Список литературы/References

1. Абиев Р. Г. Нечеткие нейронные сети для решения задач нефтегазовой геологии и геофизики / Р. Г. Абиев // Нефть и будущее Азербайджана. Работы молодых ученых и студентов. - Баку. - 1998. - С. 36-52.
2. Аксенов С. Я., Елисеев В. П., Морозов А. М. Технология сбора, хранения и архивации промыслово-геофизической и геологической информации / С. Я. Аксенов, В. П. Елисеев, А. М. Морозов // Научно-технический вестник «Каротажник». - Тверь. - 2002. - № 56. - С. 32-40.
3. Сеидов В. М. Совершенствование контроля за эксплуатацией месторождений Азербайджана с помощью геофизических методов исследований / В. М. Сеидов // Нефтяное Хозяйство. - Москва. - 2004. - №11. - С. 108-110.
4. Сеидов В. М. Моделирование контроля эксплуатации нефтегазовых месторождений геофизическими методами / В. М. Сеидов // Научно-технический вестник «Каротажник». - Тверь. - 2004. - № 3-4(116-117). - С. 266-271.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abiev R. Q. Нечеткие нейронные сети для решения задач нефтегазовой геологии и геофизики [Fuzzy neural networks for solving problems of oil and gas geology and geophysics] / R. Q. Abiev // Нефть и будущее Азербайджана. Работы молодых ученых и студентов [Oil and the future of Azerbaijan. Works of young scientists and students]. - Баку [Baku]. -1998. - P. - 35-52. [in Azerbaijan]
2. Aksenov S. Y., Yelisev V. P., Morozova A. M. Технология сбора, хранения и архивации промыслово-геофизической и геологической информации [Technology of collection, storage and archiving of field geophysical and geological information] / S. Y. Aksenov, V. P. Yelisev, A. M. Morozova // Научно-технический вестник «Каротажник». [Scientific and Technical Herald "Kronotzhnik"]. - Тверь [Tver]. - 2002. № 56. - P. 32-40. [in Russian]
3. Seidov V.M. Совершенствование контроля за эксплуатацией месторождений Азербайджана с помощью геофизических методов исследований [Improvement of control over the exploitation of Azerbaijani deposits by geophysical methods of research] / V.M.Seidov // Нефтяное Хозяйство [Oil industry]. - Москва [Moscow] - 2004. - №11. - P. 108-110. [in Russian]
4. Seidov V. M. Моделирование контроля эксплуатации нефтегазовых месторождений геофизическими методами [Modeling of oil and gaz fleid exploitation control by geophysical methods] / V. M. Seidov // [Scientific and Technical Herald "Kronotzhnik"]. - Тверь [Tver]. - 2004. № 3-4(116-117). - P. 266-271. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.065>Соловьев В.Г.¹, Шувалова Е.А.²¹Кандидат технических наук, доцент, ²аспирант,

Национальный исследовательский Московский государственный инженерно-строительный университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ В БЕТОНАХ**Аннотация**

Рассмотрено влияние различных типов неметаллической фибры (полипропиленовая микрофибра, полимерная макрофибра, стеклопластиковая композитная фибра) на трещиностойкость бетонов. В результате проведенных испытаний установлено, что наибольшую эффективность имеет композитная стеклопластиковая фибра. Её применение при оптимальных дозировках позволяет получать фибробетоны с фактическим классом по остаточной прочности в пределах 50 % от фактического класса по прочности на растяжение при изгибе по сравнению с полипропиленовой микрофibrрой и полимерной макрофibrрой, чьи показатели составляют 30 %.

Ключевые слова: трещиностойкость, фибробетон, неметаллическая фибра, деформативность.

Soloviev V.G.¹, Shuvalova E.A.²¹PhD in Engineering, Associate Professor,

National Research Moscow State University of Civil Engineering

²Postgraduate Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering**EFFICIENCY OF VARIOUS FIBER TYPES APPLICATION IN CONCRETE****Abstract**

The article considers the influence of various types of non-metallic fiber (polypropylene microfiber, polymer macro-fiber, fiberglass composite fiber) on the crack resistance of concrete. As a result of the tests, it was found that composite fiberglass fiber is the most efficient. Its application at the most effective dosages enables obtaining fiber concrete with an actual class of residual strength within 50% of the actual class of tensile strength in bending compared to a polypropylene microfiber and a polymeric macro-fiber, the values of which comprise 30%.

Keywords: crack resistance, fiber-reinforced concrete, non-metallic fiber, deformability.

Рассматривая особенности применения стальной фибры в бетонах, можно отметить, что одним из основных эффектов, обеспечивающих преимущество сталефибробетона по сравнению с другими материалами, является его повышенная трещиностойкость, которая обеспечивает высокую эксплуатационную надежность зданий и сооружений [1], [2], [3].

Изменение предела трещиностойкости сталефибробетона характеризуется уравнением потенциальной энергии деформации, аналогичным уравнению, составленному Гриффитсом, с добавлением слагаемого, учитывающего энергию, накапливаемую в процессе деформации отдельных фибр, пересекающих трещину [4]. По мере увеличения количества фибры на единицу площади расчетного сечения (за счет повышения ее объемного содержания или уменьшения диаметра фибры) в момент возникновения трещины в бетоне их податливость существенно снижается, но при этом приводит к повышению уровня трещиностойкости, который зависит также от размера критических трещин [5]. Чем более однородна бетонная матрица и чем выше уровень дисперсности армирования, тем выше, при прочих равных условиях, предел трещиностойкости сталефибробетона, который до двадцати раз может превышать трещиностойкость бетона и железобетона [6], [7]. Данные положения справедливы для стальной фибры различных геометрических размеров, модуль упругости которой значительно превышает модуль упругости бетонной матрицы. Для неметаллической фибры, указанные зависимости, в большинстве случаев, не соответствуют действительности в связи с ее низким модулем упругости (по сравнению с бетонной матрицей) и низкой адгезией к бетону [8]. При этом, неметаллической фибре часто приписывают свойства, характерные для металлической, несмотря на ключевые отличия между ними, как по свойствам, так и по эффективности работы в бетонных матрицах [9], [10].

Целью проведенного исследования являлось определение влияния различных типов неметаллической фибры на трещиностойкость бетонов.

В настоящее время в Российской Федерации действует ГОСТ 29167-91 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении», в котором определен порядок проведения испытаний и формулы по расчету основных характеристик трещиностойкости. Однако, характеристики трещиностойкости, полученные при проведении данных испытаний, сложны для восприятия и не позволяют быстро и объективно оценить полученные результаты. В качестве альтернативы ГОСТ 29167-91 в последние годы получает все большее распространение методика определения деформативности по EN 14651, которая указана в качестве основной для определения характеристик фибробетонов в СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2013 «Освоение подземного пространства. Конструкции транспортных тоннелей из фибробетона. Правила проектирования и производства работ», подготовленного к опубликованию и утверждению свода правил «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования» и разрабатываемого свода правил «Конструкции бетонные с неметаллической фиброй и полимерной арматурой. Правила проектирования». Отличительной особенностью данной методики является определение ширины раскрытия внутренних граней предварительно пропиленной трещины в образце (CMOD по EN 14651), в процессе нагружения которого по трехточечной схеме фиксируется остаточная прочность. Данная методика была выбрана для проведения исследования, так как она в наибольшей степени подходит для определения трещиностойкости фибробетонов, в связи с ожидаемой низкой эффективностью отдельных видов неметаллической фибры.

Для проведения испытаний было выбрано три основных типа неметаллической фибры, используемой при производстве бетонных конструкций и широко представленной на рынке:

1. Полипропиленовая микрофибра длиной 6 мм, диаметром 40 мкм с геометрическим фактором 150, плотностью 0,9 г/см³, модулем упругости порядка 1,2...1,6 ГПа.
2. Полимерная макрофибра длиной 50 мм, диаметром 0,5 мм с геометрическим фактором 100, плотностью 0,9 г/см³, модулем упругости более 10 ГПа.
3. Стеклопластиковая композитная фибра длиной 40...45 мм, диаметром 0,7...0,9 мм с геометрическим фактором 45...60, плотностью 1,54 г/см³, модулем упругости порядка 50 ГПа.

Для изготовления образцов применялся бетон класса по прочности при сжатии В25, состав которого, включая общие характеристики сырьевых материалов, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав бетона

Сырьевые материалы	Расход на 1 куб. м бетона, кг
Вода по ГОСТ 23732-2011	210
Цемент ЦЕМ II/ А-К 42,5 Н по ГОСТ 31108-2003	330
Щебень гранитный фракции 5-20 мм по ГОСТ 8269.0-97	1060
Песок карьерный, М _{кр} =2,1 по ГОСТ 8736-2014	740
Пластификатор Sika T-34	4,35

Для проведения испытаний были изготовлены три серии образцов фибробетона размером 150×150×600 мм, по 6 образцов в каждой серии. Содержание неметаллической фибры, принималось на основании рекомендаций производителя и результатов уже проведенных испытаний, при которых обеспечивались оптимальные прочностные характеристики фибробетонов, и составило:

- полипропиленовая микрофибра 1 кг на 1 м³ бетона;
- полимерная макрофибра 4 кг на 1 м³ бетона;
- стеклопластиковая композитная фибра 35 кг на 1 м³ бетона.

Испытания выполнялись на универсальной электромеханической машине Instron 3382, обеспечивающей максимальную испытательную нагрузку 100 кН с погрешностью измерения ±0,5% (рис. 1). Контроль раскрытия граней пропилы осуществлялся навесным распорным датчиком точностью 0,005 мм.

Результаты испытаний по определению деформативности фибробетонов с неметаллической фиброй (усредненные значения по результатам испытаний трех серий из шести образцов) приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

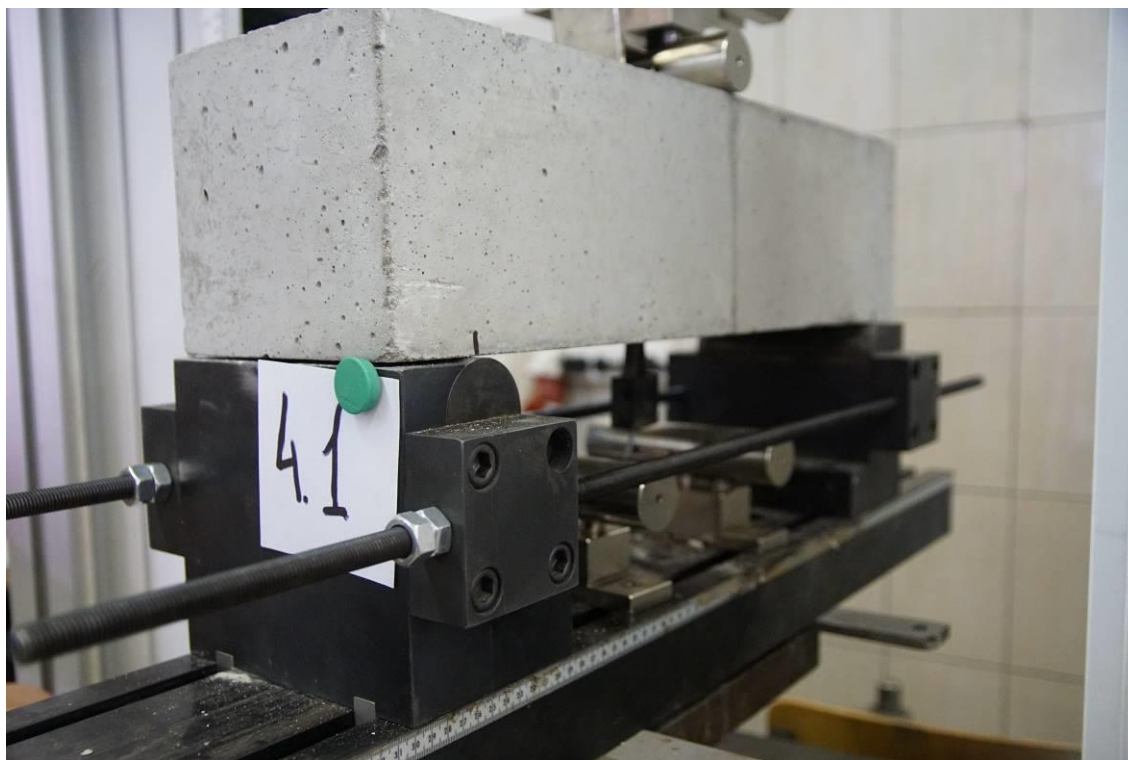


Рис. 1 – Общий вид проведения испытаний

Таблица 2 – Результаты испытаний

Вид фибры	F_L , кН	$f_{fct,L}$, МПа	$F_{0,5}$, кН	$R_{0,5}$, МПа	$F_{1,5}$, кН	$R_{1,5}$, МПа	$F_{2,5}$, кН	$R_{2,5}$, МПа	$F_{3,5}$, кН	$R_{3,5}$, МПа
Полипропиленовая	11,4	4,0	3,27	1,2	2,9	1,0	3,02	1,1	3,09	1,1
Полимер-ная	14	4,9	4,05	1,4	3,3	1,2	3,81	1,3	3,89	1,4
Композит-ная	12,2	4,3	5,81	2,0	5,6	2,0	5,87	2,1	6,38	2,2

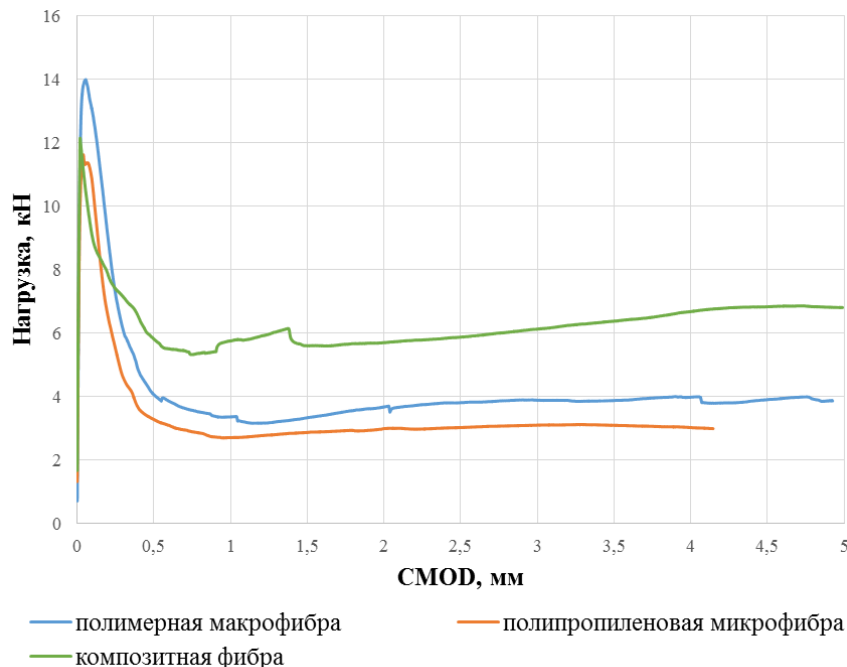


Рис. 2 – Графики «нагрузка-СМОД» испытаний фибробетона

Обработка полученных результатов в соответствии со сводом правил «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования» позволила определить, что фактический класс бетона по остаточной прочности с полипропиленовой микрофиброй – $B_{fbr}1,0$ с, полимерной макрофиброй – $B_{fbr}1,2$ с, композитной стеклопластиковой фиброй $B_{fbr}1,8$ с.

На основании проведенных исследований установлено, что из неметаллической фибры, используемой при производстве бетонных конструкций и широко представленной на рынке, наибольшую эффективность имеет композитная стеклопластиковая фибра. Ее применение при оптимальных дозировках позволяет получать фибробетоны с фактическим классом по остаточной прочности в пределах 50 % от фактического класса по прочности на растяжение при изгибе, а применение полимерной микро и макрофибры – только 30 %.

Очевидно, что дальнейшее развитие технологии фибробетонов в настоящее время возможно за счет расширения номенклатуры доступной композитной фибры с различными свойствами, которая имеет меньшую эффективность по сравнению со стальной, но и обладает рядом значительных преимуществ, позволяющих найти ей принципиально новые применения при производстве изделий и конструкций.

Список литературы / References

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов / Ф.Н. Рабинович - М. : Издательство АСВ. - 2011. - 642 с. : ил.
2. Соловьев В. Г., Бурьянов А. Ф., Елсуфьева М. С. Особенности производства сталефибробетонных изделий и конструкций / В. Г. Соловьев, А. Ф. Бурьянов, М. С. Елсуфьева // Строительные материалы. - 2014. - №3. - С. 18-21.
3. Елсуфьева М. С. и др. Оценка досрочного изменения свойств стале-фибробетонов с расширяющими добавками / М. С. Елсуфьева // Строительные материалы. - 2015. - № 7. - С. 21-23.
4. Gaber, R. Vorgespante Fasern im Beton / R. Gaber, Th. Klink // Betonwerk Fertigteil - Technik. - 1995. - № 11. - P. 90 - 96.
5. Зива, А. Г. Деформативность, трещиностойкость и раскрытие трещин в изгибаемых предварительно напряженных элементах с применением сталефибробетона / А. Г. Зива, Б. В. Соловьев // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям: тем. сб. науч. тр. - Челябинск, 1978. - С. 111 - 113.
6. Dehousse, N. M. Considérations relatives au comportement à la fissuration et à la rupture de béton renforcé de fibres. «Matériaux et constructions» / N. M. Dehousse, M. Sahloul // ACI Journal, Proceedings. - 1985. - Vol. 18. - № 104. - P. 83 - 92.
7. Johnston, Colin D. Concreto reforzado con fibras / Johnston, D. Colin // Revista JMCYC. - 1981. - Vol. 19, - № 127. - P. 35 - 40, 43 - 48, 50 - 56, 58 - 63.
8. Nurtudinov M., Solov'ev V., Panchenko A. Influence of composite fibers on the properties of heavy concrete / M. Nurtudinov, V. Solov'ev, A. Panchenko // 6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway

Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2017). – 2017. - Vol. 86, Article number 04026. doi: 10.1051/mateconf/20168604026

9. Нуртдинов М. Р., Бурьянов А. Ф., Соловьев В. Г. Повышение эффективности применения композитной стеклопластиковой фибры в бетонах / М. Р. Нуртдинов, А. Ф. Бурьянов, В. Г. Соловьев // Строительные материалы. - 2017. - № 4. - С. 68–71.

10. Соловьев В. Г., Бурьянов А. Ф., Фишер Х. Б. Особенности формирования структуры сталефибробетонов, на при тепловой обработке / В. Г. Соловьев, А. Ф. Бурьянов, Х. Б. Фишер // Строительные материалы. - 2015. - № 9. - С. 43-46.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rabinovich F. N. Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov [Composites based on fiber reinforced concrete] / F. N. Rabinovich. - M.: Publisher ASV. - 2011. - 642 p.: il. [in Russian]

2. Solov'ev V. G., Bur'yanov A. F., Elsuf'eva M. S. Osobennosti proizvodstva stalefibrobetonnykh izdelij i konstrukcij [Features of production of steel fiber concrete products and structures] / V. G. Solov'ev, A. F. Bur'yanov, M. S. Elsuf'eva // Stroitel'nye materialy [Building materials]. - 2014. - №3. - P. 18-21. [in Russian]

3. Elsuf'eva M. S. and others Ocenka dosrochnogo izmenenija svojstv stale-fibrobetonov s rasshirjajushimi dobavkami [Evaluation of early changes in the properties of steel fiber reinforced concrete with expanding additives] / M. S. Elsuf'eva and others // Stroitel'nye materialy [Building materials]. - 2015. - № 7. - P. 21-23. [in Russian]

4. Gaber, R. Vorgespannte Fasern im Beton / R. Gaber, Th. Klink // Betonwerk Fertigteil - Technik. - 1995. - № 11. - P. 90 - 96.

5. Ziva, A. G., Deformativnost', treshhinostojkost' i raskrytie treshhin v izgibaemykh predvaritel'no naprjazhennykh jelementah s primeneniem stalefibrobetona [Deformability, cracking resistance and crack opening in the prestressed flexible elements with the use of steel fiber concrete] / A. G. Ziva, B. V. Solovyov // Issledovaniya po stroitel'noj mehanike i stroitel'nykh konstrukcijam [Studies in construction mechanics and building structures] : tem. sb. nauch. tr. [thematic collection of scientific works]. - Chelyabinsk, 1978. - P. 111 - 113. [in Russian]

6. Dehousse, N. M. Considérations relatives au comportement à la fissuration et à la rupture de béton renforcé de fibres. «Matériaux et constructions» / N. M. Dehousse, M. Sahloul // ACI Journal, Proceedings. - 1985. - Vol. 18, - № 104. - P. 83 - 92.

7. Johnston, Colin D. Concreto reforzado con fibras / Johnston, D. Colin // Revista JMCYC. - 1981. - Vol. 19, - № 127. - P. 35 - 40, 43 - 48, 50- 56, 58 - 63.

8. Nurtudinov M., Solov'ev V., Panchenko A. Influence of composite fibers on the properties of heavy concrete / M. Nurtudinov, V. Solov'ev, A. Panchenko // 6th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2017). – 2017. - Vol. 86, Article number 04026. doi: 10.1051/mateconf/20168604026

9. Nurtudinov M. R., Buryanov, A. F., Solov'ev V. G. Povyshenie jeffektivnosti primeneniya kompozitnoj stekloplastikovej fibry v betonah [Increase of efficiency of use of composite fiberglass fiber in concrete] / M. R. Nurtudinov, A. F. Buryanov, V. G. Solov'ev // Stroitel'nye materialy [Building materials]. - 2017. - № 4. - P. 68-71. [in Russian]

10. Solov'ev V. G., Bur'yanov A. F., Fisher Kh. B. Osobennosti formirovaniya struktury stalefibrobetonov, na pri teplovoj obrabotke [Features of the formation of the structure of steel fiber concrete during heat treatment] / V. G. Solov'ev, A. F. Bur'yanov, Kh. B. Fisher // Stroitel'nye materialy [Building materials]. - 2015. - № 9. - P. 43-46. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.001>

Шерыхалина Н.М.

ORCID: 0000-0002-2808-1311, доктор технических наук

Уфимский государственный авиационный технический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00356)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОЧЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ-ИНСТРУМЕНТОМ В ПАССИВИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ**Аннотация**

Процесс электрохимической обработки моделируется с помощью решения задачи Шварца для комплексного потенциала на параметрической области в виде полосы. На этой основе разработан численно-аналитический метод решения задачи, позволивший использовать для моделирования экспериментальные данные, а именно, немонотонную зависимость особого вида плотности тока от анодного потенциала. Это позволяет объяснить появление в натурном эксперименте на обрабатываемой поверхности трех зон: зоны активного растворения, зоны отсутствия растворения, соответствующей падающей части зависимости, и зоны слабого растворения, которая соответствует малым плотностям тока.

Ключевые слова: электрохимическое формообразование, анодный потенциал, немонотонная зависимость, комплексные переменные.

Sherykhalina N.M.

ORCID: 0000-0002-2808-1311, PhD in Engineering

Ufa State Aviation Technical University

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project code 17-07-00356).

NUMERICAL INVESTIGATION OF MAIN FEATURES OF ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION AT PROCESSING BY POINT ELECTRODE-TOOL IN PASSIVE ELECTROLYTE**Abstract**

The process of electrochemical processing is simulated with the help of the Schwarz solution of the complex potential in the parametric region in the form of a strip. On this basis, a numerical-analytical method for solving the problem is developed. This method allowed using experimental data, and namely, the non-monotonic dependence of a special type of current density on the anode potential. This explains the emergence of three-zones in the full-scale experiment on the treated surface: Active dissolution zones, zones of no dissolution of the corresponding falling dependence portion, weak dissolution zones corresponding to the low current densities.

Keywords: electrochemical formation, anodic potential, non-monotonic dependence, complex variables.

Рассматривается двумерная задача. На рис. 1,а показана схема межэлектродного пространства (МЭП) при электрохимической обработке (ЭХО). Проволочный электрод-инструмент (ЭИ) в сечении представляется точкой. Поверхность анода – плоская.

Считается что электрическое поле соленоидально и потенциально. Для решения таких задач эффективно используются методы теории функций комплексного переменного. Применяется реальная зависимость потенциала анода Φ_a от плотности тока J , т.е. $\Phi_a = \Phi(J)$. Образом МЭП на плоскости комплексного потенциала $W = \Phi + i\Psi$ (Φ – потенциал электрического поля, Ψ – функция тока) является криволинейная полуполоса. Ширина полуполосы равна $2\Psi_0 = I/\kappa$, где I – ток, протекающий в ячейке единичной толщины, κ – электропроводность электролита (рис. 1,б).

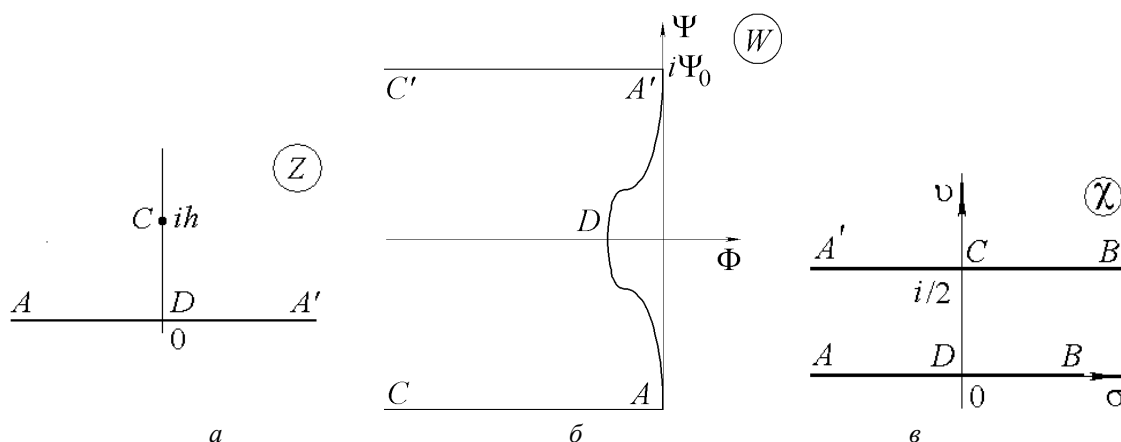


Рис. 1 – Формы области на плоскостях.

Примечание: а – физической; б – комплексного потенциала; в – параметрической.

В качестве области изменения параметрического переменного $\chi = \sigma + i\nu$ выбирается полоса $0 \leq \text{Im } \chi \leq 1/2$ (рис. 1,в). Функция

$$Z(\chi) = h \operatorname{sh} \pi \chi = h z(\chi), \quad h > 0 \quad (1)$$

конформно отображает область плоскости χ на МЭП. Производная этой функции

$$\frac{dz}{d\chi} = \pi \operatorname{ch} \pi \chi \quad (2)$$

Отображение χ на W должно удовлетворять следующим условиям:

$$\text{на } AC \text{ и } A'C' \quad \operatorname{Im} W = \mu \frac{I}{2\kappa} = \mu \Psi_0; \quad (3)$$

$$\text{на } ADA' - \operatorname{Re} W = \Phi_a = \Phi(J). \quad (4)$$

Решение задачи представляется в виде суммы

$$w(\chi) = \frac{\kappa W(\chi)}{I} = v_1 w_0(\chi) + w_1(\chi). \quad (5)$$

Здесь

$$w_0(\chi) = \frac{1}{\pi} \ln \left(\operatorname{th} \frac{\pi}{2} \left(\chi - \frac{i}{2} \right) \right). \quad (6)$$

Производные этой функции

$$\frac{dw_0}{d\chi}(\chi) = \frac{i}{\operatorname{ch} \pi \chi}, \quad \frac{dw_0}{dz} = -\frac{i}{\pi \operatorname{ch}^2 \pi \chi}. \quad (7)$$

Функция $W_0(\chi) = \frac{I}{\kappa} w_0(\chi)$ удовлетворяет условию (3); на ADA' $\operatorname{Re} W_0 = 0$. Коэффициент v_1 в (5) используется для численного приведения безразмерных значений потенциала к экспериментальным. Функция $w_1(\chi)$ должна иметь следующие свойства: $\operatorname{Re} w_1(\sigma + i0) = \operatorname{Re} w_1(-\sigma + i0)$, при $\chi = \sigma + i/2$ $\operatorname{Im} w_1(\sigma + i/2) = 0$. Такую функцию $w_1(\chi)$ можно аналитически продолжить на полосу ширины, равной единице. При этом согласно принципу симметрии [1, С. 158]

$$\operatorname{Re} w_1(\sigma + i) = \operatorname{Re} w_1(\sigma + i0). \quad (8)$$

На действительной полуоси выбирается сетка σ_m , ($m=0, \dots, n$). Искомые параметрами являются значения $\operatorname{Re} w_1(\sigma_m) = \varphi_m$. Поскольку $w_1(\sigma)$ экспоненциально убывает при $\sigma \rightarrow \infty$, принимается $\operatorname{Re} w_1(\sigma_n) = 0$. По этим значениям строится кубический сплайн $S(\sigma)$, дважды непрерывно дифференцируемый, интерполирующий искомую функцию.

Функция $w_1(\chi)$ определяется при решении задачи Шварца. Решение дается формулой [2, С. 9]

$$w_1(\chi) = i \frac{1}{2} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} w(\sigma + i) \operatorname{th} \frac{\pi}{2} (\sigma - \chi) d\sigma - \int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} w(\sigma) \operatorname{cth} \frac{\pi}{2} (\sigma - \chi) d\sigma \right].$$

С учетом (8)

$$w_1(\chi) = \frac{i}{2} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S(\sigma) \operatorname{th} \frac{\pi}{2} (\sigma - \chi) d\sigma - \int_{-\infty}^{\infty} S(\sigma) \operatorname{cth} \frac{\pi}{2} (\sigma - \chi) d\sigma \right].$$

В силу четности $\operatorname{Re} w_1(\sigma_m)$

$$w_1(\chi) = -i \operatorname{sh} \pi \chi \left[\int_0^{\infty} S(\sigma) \frac{d\sigma}{\operatorname{ch} \pi \sigma + \operatorname{ch} \pi \chi} + \int_0^{\infty} S(\sigma) \frac{d\sigma}{\operatorname{ch} \pi \sigma - \operatorname{ch} \pi \chi} \right].$$

Полученные в узловых точках $\chi_m = \sigma_m = i0$ значения $\operatorname{Im} w_1(\sigma_m)$ интерполируются кубическим сплайном $P(\sigma)$, дважды непрерывно дифференцируемым. При этом коэффициенты сплайна являются значениями первой производной $P'(\sigma_m)$.

Величина, комплексно сопряженная напряженности с учетом (2) и (7) определяется производной

$$\frac{dW}{dZ} = \frac{dW}{d\zeta} \left(\frac{dZ}{d\zeta} \right)^{-1} = \frac{I}{\kappa h} \frac{\partial w / \partial \sigma}{\partial z / \partial \sigma} = \frac{v_2}{v_1} \frac{iv_1 / \operatorname{ch} \pi \sigma + S'(\sigma) + iP'(\sigma)}{\pi \operatorname{ch} \pi \sigma},$$

где коэффициенты v_1 и v_2 , как и в (5), используются для численного приведения безразмерных значений потенциала и плотности тока к экспериментальным.

Предполагается, что анодный потенциал зависит только от нормальной составляющей вектора плотности тока $\varphi_a = \varphi_a(j_n) = -\operatorname{Re} w - 0.7$. Рассмотрим зависимость, аппроксимирующую экспериментальные результаты [3, С. 31] (рис. 2)

$$j_n(\varphi) = 0.025 - 0.923\varphi_a + 1.688\varphi_a^2 - 1.195\varphi_a^3 + 0.2615\varphi_a^4 + 0.2036 \operatorname{tg}(0.655\varphi_a) + 8.734 \frac{\varphi_a}{(2.619\varphi_a)^6 + (1.496)^6}. \quad (9)$$

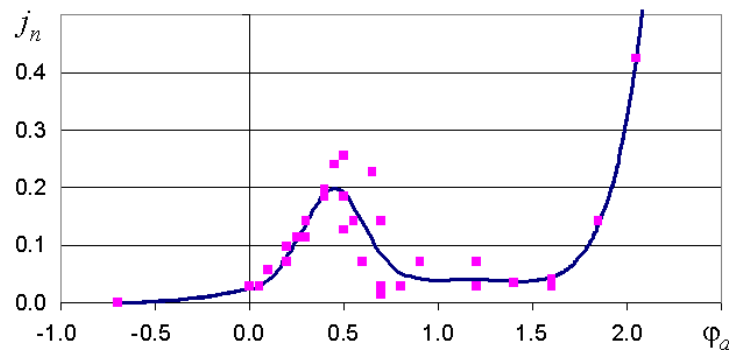


Рис. 2 – График аппроксимирующей зависимости (9) в сравнении с результатами эксперимента

Такая немонотонная зависимость наблюдается при обработке в пассивирующих электролитах при которой повышается локализация процесса растворения и точность копирования [3, С. 343]. Проведенные ранее исследования [4] – [7] существенно использовали монотонность этой зависимости.

Для численного решения задачи применялся метод коллокаций. Условие (9) выполнялось в узловых точках $\chi_m = \sigma_m = i0$, $m = 0, K, n-1$. Получалась система нелинейных уравнений, которая решалась методом Ньютона с регулированием шага. При решении задачи использовались значения $v_1 = 3.818$, $v_2 = 10$, найденные эмпирически.

Заметим, что аналогичные задачи решались в [8], [9], однако при решении использовались степенные ряды, условие сходимости которых существенно ограничивает вид используемой в качестве краевого условия (4) функции. Вследствие этого в [8], [9] использовалась упрощенная зависимость, далекая от функции (9), аппроксимирующей экспериментальные данные.

Результаты решения приведены на рис. 3 – 5. На рис. 3 показано распределение потенциала по анодной поверхности, на рис. 4 – распределение тангенциальной составляющей и полной безразмерной плотности тока, на рис. 5, а – нормальной составляющей безразмерной плотности тока.

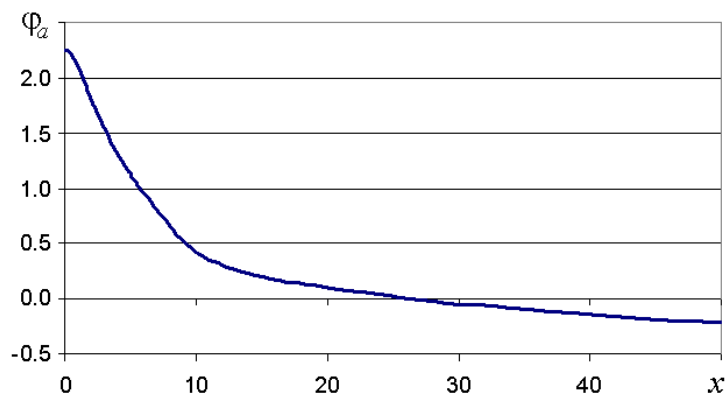


Рис. 3 – Распределение потенциала по анодной поверхности

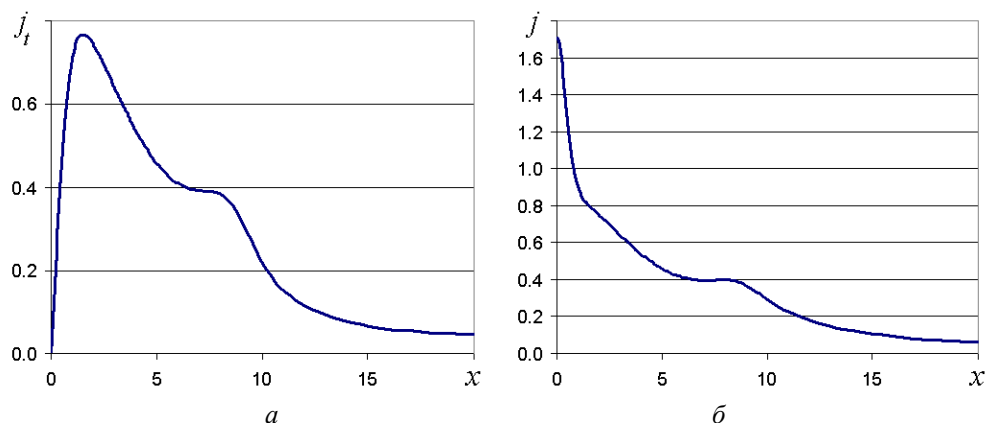


Рис. 4 – Распределение плотности тока по анодной поверхности.

Примечание: а – тангенциальной составляющей; б – полной плотности тока.

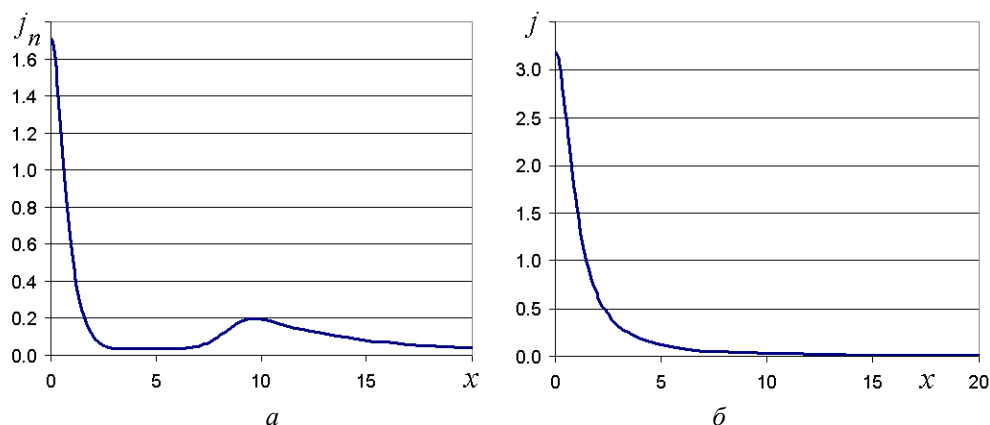


Рис. 5 – Распределение нормальной составляющей плотности тока по анодной поверхности.

Примечание: а – для зависимости (9); б – для эквипотенциального анода.

На рис. 5,б для сравнения приведен график распределения плотности тока по анодной поверхности в условиях постоянства потенциала. Видно, что непостоянство потенциала анода приводит к значительному перераспределению нормальной составляющей плотности тока.

Перераспределение тока также проиллюстрировано на рис. 6, где показаны величины тока ψ , протекающего на участках анода от точки D ($x=0$) до точки с абсциссой x , отнесенного к $v_1/2$, для переменного (1) и постоянного (2) анодного потенциала (V_1 имеет смысл величины общего тока, протекающего в цепи). Как легко заметить, при постоянном потенциале анода на расстоянии $10h$ протекает более 90% тока, при переменном около 40%.

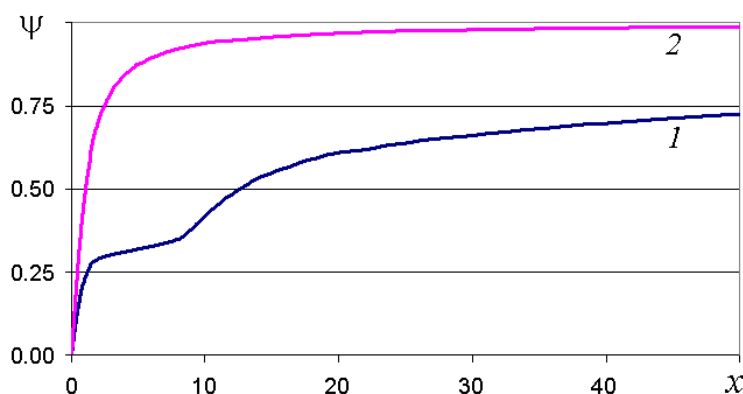
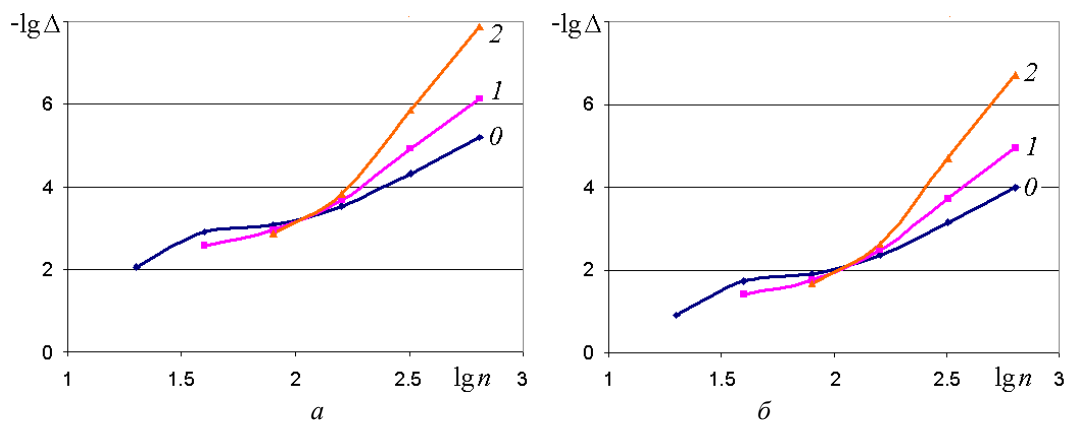


Рис. 6 – Распределение функции тока по анодной поверхности

Для анализа вычислительных погрешностей применялась численная фильтрация [10] зависимостей десятичного логарифма оценок погрешностей от десятичного логарифма числа точек коллокаций n (рис. 7), основанная на многокомпонентном анализе этих зависимостей и поочередном исключении (отфильтровывании) компонент погрешности. Цифрой 0 обозначены оценки результатов вычислений, цифрами 1, 2 – результаты 1-й и 2-й фильтрации. В результате оценок выяснено, что погрешность вычисленного значения потенциала при $n=640$ не превышает 10^{-5} , плотности тока 10^{-4} .

Рис. 7 – Оценка погрешности параметров в точке D .

Примечание: а – потенциала; б – плотности тока

В [3, С.347] приведена фотография поверхности, полученная при обработке сферическим ЭИ в водном растворе нитрата натрия. Анализ образца показал, что на его поверхности образовались 3 характерные зоны, находящиеся в области различных значений анодного потенциала и плотностей тока. Зона 1 активного растворения располагается вблизи оси ЭИ, где поверхность катода находилась на малом расстоянии от поверхности анода. Плотность тока для этой зоны максимальна. Зона 2 соответствует области пассивного состояния поверхности, о чем свидетельствует отсутствие на ней следов электрохимического растворения. И, наконец, зона 3 соответствует области слабого анодного растворения.

Из сопоставления зависимости (9) (см. рис.2), кривых распределения плотностей тока по координате (рис. 5) и результатов эксперимента можно предположить, что зона 2, где железо находилось в пассивном состоянии и отсутствовало растворение, соответствует падающей части характеристики (9). Зона 1, где протекали процессы активного электрохимического растворения, соответствует возрастающей части характеристики, находящейся за зоной пассивации. Зона 3 соответствует малым плотностям тока в возрастающей части характеристики (9).

Таким образом, в данной работе предложен численно-аналитический метод, включающий решение задачи Шварца. С помощью этого метода удалось использовать зависимость нормальной составляющей плотности тока от анодного потенциала, полученную путем аппроксимации экспериментальных данных. Это было невозможно при применении известных ранее методов, основанных на разложении в ряды, поскольку реальная зависимость содержит круто падающие и возрастающие участки.

С помощью разработанного метода были рассчитаны распределения потенциала и составляющих плотности тока на поверхности анода, которые невозможно получить в натурном эксперименте.

Список литературы / References

1. Лаврентьев М. А. Методы теории функций комплексного переменного / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М.: Наука. – 1987. – 688 с.
2. Терентьев А. Г. К линейной теории кавитационного обтекания препятствий / А. Г. Терентьев // Сборник научных трудов «Вопр. прикл. матем. и мех.». Чебоксары: изд-во Чуваш. ун-та. – 1971. – Вып.1. – С. 3–35.
3. Житников В. П. Импульсная электрохимическая размерная обработка. / В. П. Житников, А. Н. Зайцев. – М.: Машиностроение. – 2008. – 413с.
4. Клоков В. В. Стационарное анодное формообразование двугранным катодом при неравномерной поляризации анода / В. В. Клоков, С. Е. Шишкин // Сборник научных трудов «Тр. семин. по краевым задачам». – Казань: Казанск. ун-т. – 1985. – Вып. 22. – С. 117-124.
5. Каримов А. Х. Методы расчета электрохимического формообразования / А. Х. Каримов, В. В. Клоков, Е. И. Филатов – Казань: Казанск. ун-т. – 1990. – 387 с.
6. Газизов Е. Р. Анодное формообразование двугранным катодом при неравномерной поляризации анода / Е. Р. Газизов, Д. В. Маклаков // Известия вузов. Авиационная техника. – 2002. – №4. – С. 55–57.
7. Газизов Е. Р. Анодное формообразование криволинейным катодом при неравномерной поляризации анода / Е. Р. Газизов // Известия КГАСУ. – Казань. – 2006. – №1(5). – С. 132–135.
8. Муксимова Р. Р. Исследование влияния неравномерности потенциала при электрохимической обработке в пассивирующем электролите / Р. Р. Муксимова, В. П. Житников, А. А. Зарипов // Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. «Теория и практика современных электрохимических производств». СПб. – 2014. – С. 37–38.
9. Зарипов А. А. Моделирование электрохимической обработки стержневым электрод-инструментом в пассивирующем электролите // Сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки». – Часть 1. – Белгород. – 2015. – С. 8 – 14.
10. Житников В. П. Применение многократной фильтрации при численном решении задач методами теории функций комплексного переменного / В. П. Житников, Н. М. Шерыхалина // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – №1. – С. 15–24.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lavretiev M. A. Metody teorii funktsiy kompleksnogo peremennogo [The methods of the theory of functions of complex variable] / M. A. Lavretiev, B. V. Shabat // – Moscow: Nauka. – 1987. – 688 p. [in Russian]
2. Terentiev A. G. K lineynoy teorii kavitatsionnogo obyekaniiya prepyatstviy [On the linear theory of cavitating flows about obstacles] / A. G. Terentiev // Sbornik nauchnykh trudov “Voprosy prikladnoy matematiki i mekhaniki” [Collection of scientific works “Problems of applied Mathematics and mechanics”]. – 1971. – V. 1. – Cheboksary: Chuvash University. – P. 3–35. [in Russian]
3. Zhitnikov V. P. Impulsnaya electrohimicheskaya razmernaya obrabotka [Impulse electrochemical dimensional machining] / V. P. Zhitnikov, A. N. Zaytsev // – Moscow: Mashinostroenie. – 2008. – 413 p. [in Russian]
4. Klovov V. V. Statsionarnoye anodnoye formoobrazovanie dvugrannym katodom pri neravnomernoy plyarizatsii anoda [Stationary anodic shaping by two-sided cathode at nonuniform anode polarization] / V. V. Klovov, S. E. Shishkin // Sbornik nauchnykh trudov “Trudy seminarov po kraevym zadacham” [Collection of scientific works “Proceedings of workshop on the boundary problems”] [Publishing of Kazan University] – 1985. – V. 22 – P. 117–124. [in Russian]
5. Karimov A. H. Metody rascheta electrohimicheskogo formoobrazovaniya [Methods of calculation of electrochemical shaping] / A. H. Karimov, V. V. Klovov, E. I. Filatov. [Publishing of Kazan University] – 1990. – 387 p. [in Russian]
6. Gazizov E. R. Anodnoye formoobrazovanie dvugrannym katodom pri neravnomernoy plyarizatsii anoda [Anodic shaping by two-sided cathode at nonuniform anode polarization] / E. R. Gazizov, D. V. Maklakov // Izvestiya vuzov. Aviatsionnaya tekhnika [Bulletin of high school. Aviation techniques] – 2002. – No 4. – P. 55–57. . [in Russian]
7. Gazizov E. R. Anodnoye formoobrazovanie krivolineynym katodom pri neravnomernoy plyarizatsii anoda [Anodic shaping by curvilinear cathode at nonuniform anode polarization] / E. R. Gazizov // Izvestiya KGASU [Bulletin KGASU] – Kazan. – 2006. – No 1(5). – P. 132–135. [in Russian]

8. Muksimova R. R. Issledovanie vliyaniya neravnomernosti potentsiala pri elektrokhemicheskoy obrabotke v passiviruyuschem elektrolite [Investigation of the influence of potential nonuniformity under electrochemical machining in a passivating electrolyte] / R. R. Muksimova, V. P. Zhitnikov, A. A. Zaripov // Materialy. III nauchno-prakticheskoy konferentsii "Teoriya i praktika sovremennykh elektrokhemicheskikh proizvodstv" [Collection of works of III scientific conference "The theory and practice of modern electrochemical manufacture"]. Saint Petersburg. – 2014. – P. 37–38. [in Russian]

9. Zaripov A.A. Modelirovanie elektrokhemicheskoi obrabotki sterzhnevym elektrodom-instrumentom v passiviruyuschem elektrolite [Modeling of electrochemical machining with a rod electrode tool in passivating electrolyte] / A. A. Zaripov // Sbornik nauchnykh trudov VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki" [Collection of works of VIII scientific conference "Theoretical and applied problems of modern science"]. – Part 1. – Belgorod. – 2015. P. 8–14. [in Russian]

10. Zhitnikov V. P. Primenenie mnogokratnoy fil'tratsii pri chislennom reshenii zadach metodami teorii funktsiy kompleksnogo peremennogo [Application of the multistage filtration at numerical solution of problems by methods of the theory of functions of complex variable] / V. P. Zhitnikov, N. M. Sherykhalina // Vychislitel'nye tekhnologii [Numerical technologies] – 2013. – V. 18. – No. 1 – P. 15–24. [in Russian]

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.052>

Петросян О.П.¹, Кожевников А.Б.², Горбунов А.К.³, Рябченков Д.В.⁴, Кулюкина А.О.⁵

¹Кандидат физико-математических наук, доцент, ²Кандидат технических наук,

³Доктор физико-математических наук, профессор, ⁴Аспирант,

⁵Аспирант, Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАССО- И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССАХ ЭЖЕКЦИИ И ИНЖЕКЦИИ

Аннотация

Динамика рассматриваемого класса объектов и систем водоподготовки в общем случае описывается линейными или линеаризованными дифференциальными уравнениями с частными производными и постоянными или переменными коэффициентами, существование и единственность решения которых обеспечены необходимыми и достаточными линейными краевыми условиями.

Такое же математическое описание имеют, в частности, процессы тепло- и массопереноса используемые технологических процессах на объектах водоподготовки. Определение обобщенных динамических характеристик этих процессов с учетом взаимосвязи тепло- и массообмена позволит решить задачи анализа, синтеза автоматизированной или автоматической системы управления такими агрегатами, а также задачи совершенствования технологии и модернизации оборудования с целью улучшения качественных характеристик продукции, снижения энергетических затрат на ее производство и повышения производительности технологических агрегатов.

Ключевые слова: математическое моделирование, массо- или теплоперенос, краевые задачи, распределенные звенья, преобразования Лапласа.

Petrosyan O.P.¹, Kozhevnikov A.B.², Gorbunov A.K.³, Ryabchenkov D.V.⁴, Kuluikina A.O.⁵

¹PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, ²PhD in Engineering,

³PhD in Physics and Mathematics, Professor, ⁴Postgraduate Student, ⁵Postgraduate Student,

Kaluga Branch of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Bauman Moscow State Technical University (National Research University)"

MATHEMATICAL MODELING OF THE DYNAMICS OF MASS- AND HEAT TRANSFER IN EJECTION AND INJECTION PROCESSES

Abstract

The dynamics of the considered class of objects and water treatment systems in the general case is described by linear or linearized differential equations with partial derivatives and constant or variable coefficients, the existence and uniqueness of the solution of which are provided by necessary and sufficient linear boundary conditions.

The same mathematical description has, in particular, the processes of heat and mass transfer used by technological processes at water treatment facilities. Taking into account the interrelation of heat and mass transfer, determination of the generalized dynamic characteristics of these processes will allow solving the problems of analysis and synthesis of an automated or automatic control system for such units, as well as the tasks of improving technology and upgrading equipment in order to improve quality characteristics of products, reduce energy costs for its production and enhance the productivity of technological units.

Keywords: mathematical modeling, mass or heat transfer, boundary value problems, distributed components, Laplace transformation.

Дадим математическое описание широкого класса технологических объектов и систем в технологиях водоподготовки, на исследовании которых можно достаточно полно охарактеризовать особенности детерминированного анализа таких систем и использовать результаты при исследовании конкретных технологических объектов. К ним следует отнести различные по назначению аппараты, в которых происходят физические процессы массообмена и теплообмена, как правило, взаимосвязанные между собой. Это аппараты, принцип действия которых основан на таких явлениях как эжекция, инжекция, сорбция, десорбция, растворение и т.п., которых весьма достаточно в технологиях водоподготовки и сопутствующих технологиях, например, подготовка растворов, нейтрализация активных отходов, нейтрализация аварийных ситуаций и другие. Дадим математическое описание таких объектов и систем.

Динамика изменения массосодержания $U(r, \tau)$ и температуры $t(r, \tau)$ среды или материала при отсутствии градиента общего давления описывается следующей системой дифференциальных уравнений [1, С. 560]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U(R, \tau)}{\partial \tau} &= a_{11} \nabla^2 U(R, \tau) + a_{12} \nabla^2 t(r, \tau), \\ \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial \tau} &= a_{21} \nabla^2 U(R, \tau) + a_{22} \nabla^2 t(r, \tau) \end{aligned} \right\} \quad \begin{aligned} R \in [R_1, R_2], \tau \in [0, \infty), \end{aligned} \quad (1)$$

где $R = r / R_0$ - нормированная координата; R_0 - основной геометрический параметр среды или материала; ∇^2 - оператор Лапласа по R [1, С. 560]; коэффициенты $\{a_{ij}\}$ постоянны.

Единственность решения этой системы дифференциальных уравнений обеспечивается начальными и граничными условиями, которые в общем случае можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} U(R, 0) &= W^*, \quad t(R, 0) = T^*, \\ \pm \mu \frac{\partial U}{\partial R} + \beta_U (U - v W_\Gamma) &= \gamma_U \Big|_{R=\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix}}, \\ \pm \mu \frac{\partial t}{\partial R} + \alpha_t (t - T_\Gamma) &= \gamma_t \Big|_{R=\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Начальные значения W^* , T^* постоянны, а значение коэффициента v - рассчитываемая величина. Остальные коэффициенты, входящие в граничные условия, равны: при граничных условиях первого рода $\mu = \gamma_U = \gamma_t = 0$, $\alpha_t = \beta_U = 1$; второго рода - $\mu = 1$, $\alpha_t = \beta_U = 0$, γ_U и γ_t постоянны; третьего рода - $\mu = 1$, $\gamma_U = \gamma_t = 0$, а для коэффициентов α_t и β_U допустимо изменение во времени.

Массосодержание W_Γ и температура T_Γ пограничной среды либо заданы и постоянны, либо являются решением определенных уравнений, о чем будет сказано позднее.

Осреднение внутреннего поля массосодержания U и температуры t по объему среды или материала V позволяет определить изменение во времени среднееобъемного массосодержания среды или материала $W(\tau)$ и среднееобъемной температуры $T(\tau)$:

$$W(\tau) = \frac{1}{V} \int_V U(R, \tau) dV, \quad (3)$$

$$T(\tau) = \frac{1}{V} \int_V t(R, \tau) dV. \quad (4)$$

Рассматриваемые процессы протекают, как правило, в закрытых системах (трубопроводы, каналы, камеры и т.п.), т.е. таких, где явно, с точки зрения математического описания простыми алгебраическими равенствами, справедливы уравнения материального и теплового баланса, в которые входят $W(\tau)$ и $T(\tau)$.

При $a_{12} = a_{21} = 0$ или малом взаимном влиянии друг на друга процессов переноса каждой из субстанций (массы и тепла) система уравнений (1) распадается на два самостоятельных дифференциальных уравнения, описывающих массо- или теплоперенос [2, С. 432], каждое из которых можно записать в следующем виде (уравнение Фурье):

$$\frac{\partial \theta(R, F_0)}{\partial F_0} = \nabla^2 \theta(R, F_0), \quad R \in [R_1, R_2], \quad F_0 \in [0, \infty), \quad (5)$$

где $\theta(R, F_0)$ - либо массосодержание, либо температура среды или тела;

$F_0 = a\tau / R_0^2$ - критерии (число) Фурье; a - коэффициент массо- или теплопроводности.

Как правило, рассматриваемые процессы протекают в закрытых системах (трубопроводы, каналы, камеры и т.п.),

т.е. таких, для которых справедливы уравнения материального и теплового баланса, в которые входят $T(\tau)$ и $W(\tau)$. Причем, для учета теплопотерь в окружающую среду необходимо рассмотреть динамику теплообмена между движущейся по трубопроводу или иному каналу средой (жидкостью, газом) и окружающей эту трубу внешней средой через ее стенку, имеющую температуру T_c . Этот процесс описывается следующей системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{\Gamma}^{\Pi}}{\partial F_0} + \frac{\partial T_{\Gamma}^{\Pi}}{\partial X} &= \beta_0(T_c - T_{\Gamma}^{\Pi}), \\ \frac{\partial T_c}{\partial F_0} &= \beta_1(T_{\Gamma}^{\Pi} - T_c) - \beta_2(T_c - T_{\Gamma H}) \end{aligned} \quad (6)$$

при начальных и граничных условиях:

$$\begin{aligned} T_{\Gamma}^{\Pi}(X, 0) &= T_{\Gamma 0}^{\Pi}(X); \quad T_c(X, 0) = T_{co}(X); \\ T_{\Gamma}^{\Pi}(0, F_0) &= T_{\Gamma}^* \end{aligned}$$

В системе (7.6) независимыми переменными являются безразмерные $F_0 \in [0, \infty)$ и $X \in [0, 1]$, которые связаны со временем τ и продольной координатой трубы x соотношениями

$$F_0 = \frac{V_{\Gamma}}{l} \tau; \quad X = \frac{x}{l}. \quad (7)$$

Решение системы уравнений (6) позволит определить изменение температуры пограничного потока в трубе $T_{\Gamma}(x)$ с учетом теплообмена с окружающей средой

$$T_{\Gamma}(x) = T'_{\Gamma}(x) - T_{\Gamma}^* + T_{\Gamma}^{\Pi}(x) \quad (8)$$

Так как массообмен происходит в закрытой системе, то для любого сечения трубы справедливо следующее уравнение материального баланса:

$$\begin{aligned} W(x) + qW_{\Gamma}(x) &= G^*, \\ \text{где } G^* &= W^* + qW_{\Gamma}^*. \end{aligned} \quad (9)$$

Часто применяемые режимы работы таковы, что можно считать, что взаимное влияние процессов массообмена и теплообмена друг на друга не существенно, т.е. массообмен не осложнен теплообменом, так как температура среды или материала T в процессе изменяется незначительно. Такой массообмен описывается дифференциальным уравнением

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial \tau} &= K_{11} \nabla^2 U \\ \text{при краевых условиях:} \\ U(r, 0) &= W^*, \\ \frac{\partial U}{\partial r} &= 0 \Big|_{r=0}, \\ \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\alpha_M}{\lambda_M} (U - vW) &= 0 \Big|_{r=R_0} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Если ограничиться лишь применяемыми режимами работы установки, то для расчета изменения массосодержания материала достаточно решения краевой задачи (10). Решение же системы уравнений (6) позволит исследовать и оценить возможности перехода на иные режимы работы установки, способствующие повышению ее производительности и улучшению качества продукции.

Уточним некоторые параметры системы (10). Коэффициент массоотдачи α_M , входящий в граничные условия, по мере увеличения скорости материала убывает и его изменение во времени можно описать следующей зависимостью

$$\alpha(\tau) = a_0 + b_0 \sum_{j=1}^m C_j e^{-\lambda_j \tau}. \quad (11)$$

Массообменные характеристики процесса зависят от значения коэффициента массопоглощения ν , который также входит в граничные условия и рассчитывается с учетом специфики рассматриваемого процесса. Физический смысл и формулы вычисления остальных параметров, входящих в вышеприведенные уравнения математической модели исследуемых объектов и систем, уточняются в конкретных задачах.

К искомым динамическим характеристикам относятся пространственно-временные характеристики $U(R, \tau)$, $t(R, \tau)$, их осреднения по объему $W(\tau)$ и $T(\tau)$, а также $T_{\Gamma}(x, \tau)$ и $T_c(x, \tau)$, являющиеся решениями соответствующих уравнений математической модели. Как показано в последующих главах, соответствующей заменой

искомых функций в этих дифференциальных уравнениях можно получить их более обобщенные решения, позволяющие судить о поведении системы при изменении начальных условий, граничных условий, параметров среды и некоторых параметров процесса, т.е. получить обобщенные динамические характеристики системы. Кроме того, в ходе решения дифференциальных уравнений математической модели можно выявить так называемые элементарные распределенные звенья [3, С. 304], [9, С. 46 – 53], динамические характеристики которых также следует отнести к искомому, так как при их наличии определение динамических характеристик всей системы или составляющих ее частей не вызывает затруднений.

Частные случаи сформулированной выше математической модели нашли применение не только в теории тепло- и (или) массообмена [4, С. 132], [1, С. 560], но и в задачах математической физики [5, С. 33 – 40], [6, С. 712], [11, С. 352], в радиотехнике, при описании процессов в аппаратах химической технологии [7, С. 168] и других.

Дифференциальные уравнения этой математической модели не имеют точного решения, а их приближения, которые могут быть получены различными методами, не гарантируют, прежде всего, достаточной скорости сходимости аппроксимирующих выражений, за исключением ряда упрощенных описаний таких процессов [5, С. 33 – 40], [8, С. 720].

В процессе решения вышеприведенных краевых задач будем применять математический аппарат одномерного и двумерного преобразования Лапласа.

При постоянных коэффициентах α_t и β_U в граничных условиях (2) можно получить решения дифференциальных уравнений описанной выше математической модели в изображениях по Лапласу, т.е. как функции параметра интегрального преобразования s и координаты R или X , если воспользоваться преобразованием Лапласа по $\tau \in [0, \infty)$ или $F_0 \in [0, \infty)$ [4, С. 132]. Так, при граничных условиях первого, второго или третьего рода в этом случае по дифференциальному уравнению Фурье можно получить [4, С. 132]

$$\bar{\theta}(R, s) = A(s)W_1(R\sqrt{s}) + B(s)W_2(R\sqrt{s}), \quad (12)$$

где $A(s)$ и $B(s)$ – коэффициенты, определяемые граничными условиями, а $W_1(R\sqrt{s})$ и $W_2(R\sqrt{s})$ – передаточные функции по соответствующим каналам воздействия. Как $A(s)$, $B(s)$, так и $W_1(R\sqrt{s})$, $W_2(R\sqrt{s})$ содержат в своей структуре гиперболические функции, если объект имеет форму пластины или шара, а при объекте цилиндрической формы – функции Бесселя. Их конкретные выражения для этих трех основных форм тела даны в работах [4, С. 132].

В ряде случаев передаточные функции распределенных объектов содержат трансцендентные составляющие вида

$$W(X, s) = e^{-\Phi(s)X}. \quad (13)$$

Такие сомножители с дробно-рациональной функцией $\Phi(s)$ определяют передаточные функции теплообменных аппаратов [7, С. 168], а с дробно-иррациональной функцией $\Phi(s)$ – изображения по Лапласу динамических характеристик связанного тепломассопереноса, являющихся решением системы дифференциальных уравнений (1) [3, С. 304], [10, С. 17 – 28].

Список литературы / References

1. Лыков А.В. Тепломассообмен / Лыков А.В. // Справочник – М: Энергия, 1972. – С. 560.
2. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / Лыков М.В. // Сушка в химической промышленности – М: Химия, 1970. – С. 432.
3. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Спектральная оптимизация в задачах анализа и синтеза систем / Кожевников А.Б., Петросян О.П. // Спектральная оптимизация в задачах анализа и синтеза систем – Калуга: Моноскрипт, 2016. – С. 304.
4. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Эжекция и сушка материалов в режиме пневмотранспорта / Кожевников А. Б., Петросян О. П. // Эжекция и сушка материалов в режиме пневмотранспорта – М: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2010. – С. 142.
5. Дмитриев А.Н., Кожевников А.Б. Применение математического программирования в спектральных методах детерминированного и статистического анализа систем с переменными параметрами. / Дмитриев А.Н., Кожевников А.Б. // – В кн.: Автоматическое управление объектами с переменными характеристиками. Межвузовский сборник научных трудов, Новосибирск. – 1989. – С. 33 – 40.
6. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики / Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. // Уравнения в частных производных математической физики – М: Высшая школа. – 1970. – С. 712.
7. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика процессов в тепло- и массообменных аппаратах / Серов Е.П., Корольков Б.П. // Динамика процессов в тепло- и массообменных аппаратах – М: Энергия. – 1967. – С. 168.
8. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г. и Корн Т. // – Справочник по математике для научных работников и инженеров – М: Наука. 1968. – С. 720.
9. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Спектральная адаптация метода наименьших квадратов к динамике объектов водоподготовки с распределенными параметрами. / Кожевников А.Б., Петросян О.П. // Водочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. – 2010. – № 10. – С. 46-53.
10. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Расчет динамики распространения по водной сети зон загрязнения в нестационарных условиях / Кожевников А.Б., Петросян О.П. // Водоснабжение и канализация. – 2010. – № 9. – С. 17-28.

11. Алексидзе М.А. Решение граничных задач методом разложения по неортогональным функциям / Алексидзе М.А. // Решение граничных задач методом разложения по неортогональным функциям – М: Наука. – 1978. – С. 352.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lykov A.V. Teplomassoobmen [Heat and mass transfer] / Lykov A.V. // Spravochnik [handbook] – М: Jenergija, 1972. – P. 560. [in Russian]
2. Lykov M.V. Sushka v himicheskoj promyshlennosti [Drying in the chemical industry] / Lykov M.V. // Sushka v himicheskoj promyshlennosti [Drying in the chemical industry] – М: Himija, 1970. – P. 432. [in Russian]
3. Kozhevnikov A.B., Petrosjan O.P. Spektral'naja optimizacija v zadachah analiza i sinteza sistem [Spectral optimization in problems of analysis and synthesis of systems] / Kozhevnikov A.B., Petrosjan O.P. // Spektral'naja optimizacija v zadachah analiza i sinteza sistem [Spectral optimization in problems of analysis and synthesis of systems] – Kaluga: Monuskript, 2016. – P. 304. [in Russian]
4. Kozhevnikov A. B., Petrosjan O. P. Jezhekcija i sushka materialov v rezhime pnevmotransporta [Ejection and drying of materials in pneumatic transport mode] / Kozhevnikov A. B., Petrosjan O. P. // Jezhekcija i sushka materialov v rezhime pnevmotransporta [Ejection and drying of materials in pneumatic transport mode] – М: Izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman. – 2010. – P. 142. [in Russian]
5. Dmitriev A.N., Kozhevnikov A.B. Primenenie matematicheskogo programmirovanija v spektral'nyh metodah determinirovannogo i statisticheskogo analiza sistem s peremennymi parametrami [Application of mathematical programming in the spectral methods of deterministic and statistical analysis of systems with variable parameters] / Dmitriev A.N., Kozhevnikov A.B. // – V kn.: Avtomaticheskoe upravlenie obektami s peremennymi harakteristikami. Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov, Novosibirsk [Automatic control of objects with variable characteristics. Interuniversity collection of scientific papers, Novosibirsk] – 1989. – P. 33 – 40. [in Russian]
6. Koshljakov N.S., Gliner Je.B., Smirnov M.M. Uravnenija v chastnyh proizvodnyh matematicheskoy fiziki [Equations in partial derivatives of mathematical physics] / Koshljakov N.S., Gliner Je.B., Smirnov M.M. // Uravnenija v chastnyh proizvodnyh matematicheskoy fiziki [Equations in partial derivatives of mathematical physics] – М: Vysshaja shkola. – 1970. – P. 712. [in Russian]
7. Serov E.P., Korol'kov B.P. Dinamika processov v teplo- i massoobmennyyh apparatah [Dynamics of processes in heat and mass transfer apparatus] / Serov E.P., Korol'kov B.P. // Dinamika processov v teplo- i massoobmennyyh apparatah [Dynamics of processes in heat and mass transfer devices] – М: Jenergija. – 1967. – P. 168. [in Russian]
8. Korn G. i Korn T. Spravochnik po matematike dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [A handbook on mathematics for scientists and engineers] / Korn G. i Korn T. // – Spravochnik po matematike dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [A handbook on mathematics for scientists and engineers] – М: Nauka. 1968. – P. 720. [in Russian]
9. Kozhevnikov A.B., Petrosjan O.P. Spektral'naja adaptacija metoda naimen'shih kvadratov k dinamike obektov vodopodgotovki s raspredelemnymi parametrami [Spectral adaptation of the method of least squares to the dynamics of water treatment objects with distributed parameters] / Kozhevnikov A.B., Petrosjan O.P. // Vodoochistka, Vodopodgotovka, Vodosnabzhenie [Water treatment, Water treatment, Water supply] – 2010. – № 10. – P. 46-53. [in Russian]
10. Kozhevnikov A.B., Petrosjan O.P. Raschet dinamiki rasprostraneniya po vodnoj seti zon zagrizneniya v nestacionarnyyh uslovijah [Calculation of the dynamics of propagation of contaminated zones over the water network in non-stationary conditions] / Kozhevnikov A.B., Petrosjan O.P. // Vodosnabzhenie i kanalizacija [Water supply and sewerage] – 2010. – № 9. – P. 17-28. [in Russian]
11. Aleksidze M.A. Reshenie granichnyh zadach metodom razlozheniya po neortogonal'nyh funkciyam [Solution of boundary value problems by the method of expansion in non-orthogonal functions] / Aleksidze M.A. // Reshenie granichnyh zadach metodom razlozheniya po neortogonal'nyh funkciyam [Solution of Boundary Problems by the Method of Expansion in Nonorthogonal Functions] – М: Nauka. – 1978. – P. 352. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.026>Саранин В.А.¹, Кельдышев Д.А.², Иванов Ю.В.³¹ORCID: 0000-0002-4097-2440, Доктор физико-математических наук,²ORCID: 0000-0001-5253-7748, Старший преподаватель,³ORCID: 0000-0002-2193-043, Кандидат педагогических наук,

Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Удмуртской Республики в рамках научного проекта № 17-16-18017***ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ НАБОРОВ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ****Аннотация**

Робототехнический набор типа LEGO используется при проведении двух физических экспериментов. Первый эксперимент связан с явлением скольжения постоянного магнита по немагнитной проводящей пластине. Высокоточное автоматизированное измерение времени скольжения позволило подтвердить постоянство скорости скольжения и определить ее величину. Во втором эксперименте исследовалось скатывание трех стальных шаров разного диаметра по наклонному желобу. Измерение времени скатывания показало, что оно одинаково для всех шаров. Также с точностью до 5 % определен множитель 0,4 в моменте инерции шаров.

Ключевые слова: физические эксперименты с робототехническими наборами, скольжение магнита по проводнику, скатывание шаров по наклонной плоскости.

Saranin V.A.¹, Keldyshev D.A.², Ivanov Yu.V.³¹ORCID: 0000-0002-4097-2440, PhD in Physics and Mathematics,²ORCID: 0000-0001-5253-7748, Senior Lecturer, ³ORCID: 0000-0002-2193-043, PhD in Pedagogy,

Glazov State Pedagogical Institute named after V.G. Korolenko

*The work was carried out with the financial support of the RFBR and the Udmurt Republic within the framework of the scientific project No. 17-16-18017***APPLICATION OF ROBOTICAL SETS IN PHYSICAL EXPERIMENTS****Abstract**

A robotic LEGO type set is used in two physical experiments. The first experiment is related to the phenomenon of sliding a permanent magnet over a non-magnetic conducting plate. High-precision automated measurement of the sliding time allowed confirming the constancy of the sliding speed and determining its magnitude. In the second experiment, the sliding of three steel balls of different diameters along a shoot was considered. The measurement of the sliding time showed that it is the same for all balls. With an accuracy of up to 5%, a factor of 0.4 is determined in the moment of the balls inertia.

Keywords: physical experiments with robotic sets, sliding the magnet along a conductor, sliding balls along a shoot.

В настоящее время робототехника является важнейшим направлением научно-технического прогресса. Она тесно связана с такими науками как физика, электроника, программирование. Ее развитие способствует созданию новых автоматизированных технологий и искусственного интеллекта. Поэтому очень важно и актуально внедрять элементы робототехники в образовательный процесс школ и вузов естественнонаучного направления [1], [2], [3], [4].

Знакомство с робототехническими наборами целесообразно проводить на основе реальных, например, физических опытов. В частности, известно, что постоянный магнит, движущийся по немагнитной проводящей поверхности (например, из алюминия или дюралюминия), тормозится и движется медленно, визуально с постоянной скоростью. Простой эксперимент со скользящим магнитом приведен в [5]. Представляет интерес, используя робототехнический набор, экспериментально подтвердить факт постоянства скорости и найти ее.

Прежде дадим упрощенное теоретическое объяснение явлению. Поскольку важно относительное движение магнита и проводника будем считать, что проводник в виде стержня длиной l может скользить по длинным проводящим рельсам, замкнутым на сопротивление R во внешнем магнитном поле индукцией B (рис. 1). Подобная задача рассмотрена, например, в [6, С. 163] и [7, С. 391].

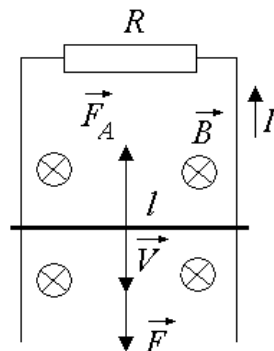


Рис. 1 – Схема движения проводящей перемычки в магнитном поле

Пусть стержень начинает двигаться под действием внешней силы F . Как только начнется движение, на свободные заряды в проводящем стержне будет действовать сила Лоренца $F_L = qvB$ (v – скорость движения

стержня), направленная вправо (на положительные заряды, на отрицательные – влево), то есть по стержню пойдет ток. На этот ток со стороны внешнего магнитного поля будет действовать сила Ампера $F_A = IBl$, направленная вверх, то есть в сторону противоположную движущей силе F . По мере увеличения скорости стержня будет расти и сила Лоренца, следовательно, и сила тока, и сила Ампера. Наконец наступит момент, когда силы F и F_A будут равны, и скорость стержня далее расти не будет. При этом работа внешней силы F за время Δt переходит в тепло:

$$Fv\Delta t = I^2 R \Delta t. \quad (1)$$

Отсюда установившаяся скорость движения стержня равна

$$v = \frac{I^2 R}{F}. \quad (2)$$

Силу тока найдем из равенства $F = F_A = IBl$, тогда $I = F / Bl$ и равенство (2) дает

$$v = \frac{FR}{B^2 l^2}. \quad (3)$$

Таким образом, чем больше индукция магнитного поля, тем меньше установившаяся скорость движения стержня. Сила Ампера в данном случае является силой сопротивления и уменьшает скорость движения проводника в магнитном поле или магнита по проводнику.

Важнейшим свойством этого явления можно считать постоянство скорости движения магнита. Для экспериментального установления этого факта была собрана установка на основе робототехнического набора LEGO Mindstorms education EV3 (см., например, [8]), показанная на рис. 2. Цифрами на нем обозначены: 1 – микроконтроллер, 2 – сервопривод для автоматического запуска магнита, 3 – датчик цвета, 4 – наклонная плоскость, 5 – каркас-держатель всех элементов. Для опытов использовался ниодимовый магнит в виде таблетки диаметром 1 см и толщиной 2 мм. Сверху на него прицеплялась ярко желтая шайбочка для срабатывания датчика цвета. В качестве наклонной плоскости использовался дюралюминиевый уголок.

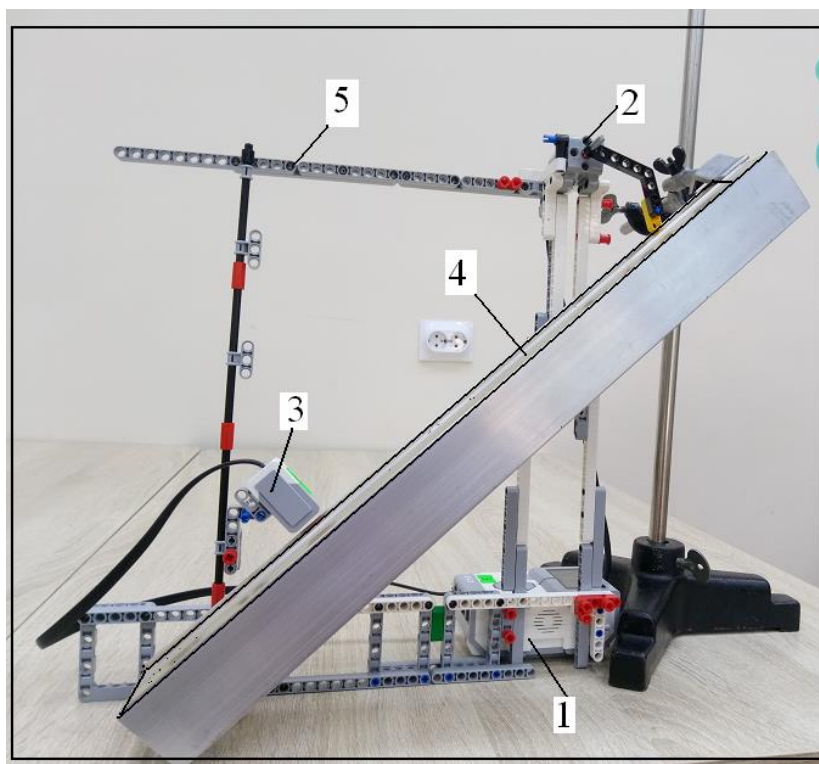


Рис. 2 – Фото экспериментальной установки для исследования скольжения магнита по наклонной плоскости

Для срабатывания сервопривода и датчика цвета составлялась компьютерная программа для микроконтроллера в среде EV3-G (поставляется вместе с робототехническим набором), с помощью которой измерялось время прохождения магнитом расстояния от шлагбаума сервопривода до центра светового пятна датчика цвета. Время с точностью до тысячной доли секунды высвечивалось на экране микроконтроллера. Датчик цвета устанавливался в трех разных местах вдоль наклонной плоскости. В каждой позиции проводилось 10 измерений времени, находилось среднее значение и погрешность. Для примера укажем: расстояние в 210 мм магнит с шайбочкой проходил за время 0,791 с, шайбочка без магнита проходила это же расстояние за время 0,422 с. Расстояния измерялись миллиметровой рулеткой. По этим данным вычислялась скорость магнита

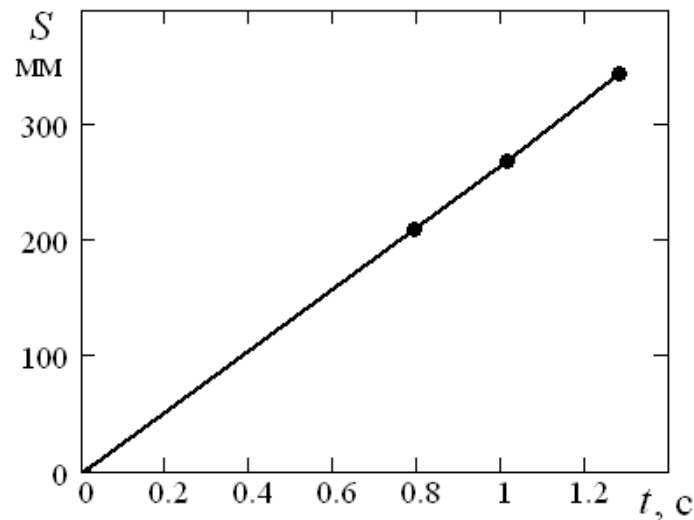


Рис. 3 – Зависимость расстояния, пройденного магнитом, от времени. Точки соответствуют экспериментальным данным

На рис. 3 точками показаны результаты измерений. Видно, что все три точки ложатся на прямую, проходящую через начало координат. Это свидетельствует о постоянстве скорости скольжения магнита. Для каждой из точек получились следующие значения скоростей (снизу вверх):

$$v_1 = (265 \pm 4) \text{ мм/с}, \quad v_2 = (266 \pm 2) \text{ мм/с}, \quad v_3 = (268 \pm 3) \text{ мм/с}. \quad (4)$$

Среднее из них:

$$v = (266 \pm 4) \text{ мм/с}, \quad \delta v = 2 \%. \quad (5)$$

Другим поучительным примером использования данного набора по робототехнике можно считать исследование скатывания шаров с наклонной плоскости. Дело в том, что все шары с заданной наклонной плоскости скатываются с одним и тем же ускорением (в условиях, когда нет проскальзывания и силой сопротивления воздуха можно пренебречь).

Покажем это теоретически. На шар действуют три силы, показанные на рис. 4. Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось X и основное уравнение вращательного движения относительно точки C :

$$ma = mg \sin \alpha - F_T, \quad J\varepsilon = F_T R, \quad \varepsilon = \frac{a}{R}. \quad (6)$$

Отсюда нетрудно получить

$$a = g \frac{\sin \alpha}{(1 + I)}, \quad I = \frac{J}{mR^2}. \quad (7)$$

Это же результат можно получить, используя закон сохранения энергии [9, С. 163]. Момент инерции шара равен $J = (2/5)mR^2$, поэтому величина $I = 0,4$ и для заданной наклонной плоскости величина ускорения постоянна и одинакова для всех шаров.

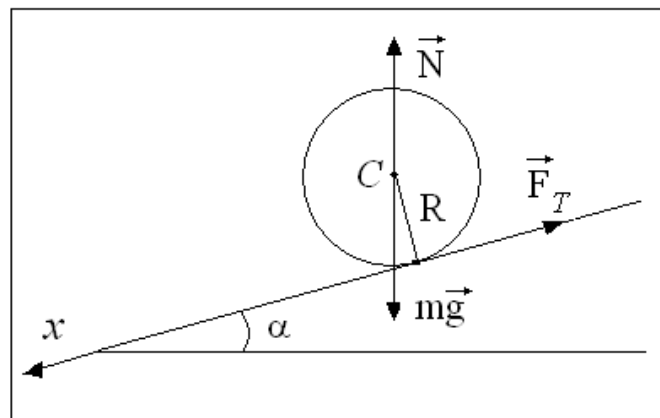


Рис. 4 – Схема скатывания шара по наклонной плоскости

В опытах по определению ускорения шаров использовался тот же набор по робототехнике, только датчик цвета заменялся на датчик касания, а наклонная плоскость была в виде желоба, на конце которого закреплялся датчик касания. Скатывались три стальных шара радиусами 10 мм, 18 мм и 24 мм. Для каждого шара производилось по 10 измерений времени скатывания. Среднее время скатывания оказалось равным $(1,19 \pm 0,01) \text{ с}$, $(1,18 \pm 0,01) \text{ с}$, $(1,20 \pm$

0,01) с соответственно для каждого шара. Видно, что в пределах погрешности оно одинаково и в среднем равно $t = (1,19 \pm 0,01)$ с. Ускорение шаров вычислялось по формуле

$$a = \frac{2S}{t^2}, \quad (8)$$

где $S = 565$ мм – длина скатывания. Высота, с которой скатывались шары была равна $h = 66$ мм. Используя эти данные и формулы (7), (8) можно найти экспериментальную величину I , то есть фактически экспериментально определить момент инерции шара. Имеем

$$I = \frac{ght^2}{2S^2} - 1 \approx 0,42 \quad (9)$$

Погрешность нахождения этой величины вычислим по формуле

$$\Delta I = I \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{2\Delta t}{t} + \frac{2\Delta S}{S} \right) \approx 0,02 \quad (10)$$

В результате получаем

$$I = (0,42 \pm 0,02), \quad \delta I = 5 \% \quad (11)$$

На нижнем пределе величина I совпадает с теоретическим значением.

Отметим, что это исследование можно представить как лабораторную работу по определению момента инерции шара [10].

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность использования робототехнических наборов типа LEGO при проведении физических экспериментов.

Список литературы / References

1. Юревич Е. И. Основы робототехники — 2-е изд., перераб. и доп. / Е.И. Юревич. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 416 с.
2. Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей / С.А. Филиппов. — СПб.: Наука, 2013. — 320 с.
3. Карпутина А.Ю. Образовательная робототехника / А.Ю. Карпутина // Современные научные исследования и инновации. — 2016. — № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/74896>. (дата обращения: 04.06.2017).
4. Гайсина И.Р. Развитие робототехники в школе / И.Р. Гайсина // Педагогическое мастерство (II): материалы междунар. заоч. науч. конф. — М.: Буки-Веди, 2012. — С. 105-107.
5. Саранин В.А. Экспериментальные исследовательские задания по физике. 7 – 11 классы / В.А. Саранин, Ю.В. Иванов. — М.: ВАКО, 2015. — С. 34.
6. Иродов И.Е. Задачи по общей физике: Учеб. пособие. — 2 изд., перераб. / И.Е. Иродов. — М.: Наука, 1988. — С. 163.
7. Физика: 3800 задач для школьников и поступающих в вузы / Авт.-сост. Н.В. Турчина, Л.И. Рудакова, О.И. Суров и др. — М.: Дрофа, 2000. — С. 391.
8. Белиовский Н.А. Использование LEGO-роботов в инженерных проектах школьников. Отраслевой подход / Н.А. Белиовский, Л.Г. Белиовская. — М.: ДМК-Пресс, 2016. — 88 с.
9. Все решения к «Сборнику задач по общему курсу физики» В.С. Волькенштейн. В 2 кн. Кн. 1. — М.: Олимп: ООО «Фирма «Издательство АСТ», 1999. — С. 163.
10. Бутырский Г.А. Школьный физический практикум: учебное пособие для студентов, магистрантов, учителей физики и аспирантов / Г.А. Бутырский. — Киров: ООО Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2015. — С. 23.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yuryevich E.I. Osnovy robototekhniki [Robotics bases – 2-e edition processed and added]. / E.I. Yuryevich. — SPb.: BKHV-Peterburg, 2005. — 416 p. [in Russian]
2. Philippov S.A. Robototekhnika dlya detey i roditeley [Robotics for children and parents] / S.A. Philippov. — SPb.: Nauka, 2013. — 320 p. [in Russian]
3. Karputina A. Yu. Obrazovatelyenaya robototekhnika [Educational robotics] / A. Yu. Karputina // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii [Modern scientific researches and innovations] — 2016. - № 12. [Electronic resource]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/74896>. (accessed: 04.06.2017) [in Russian]
4. Gaiysina I.R. Razvitie robototekhniki v shkole [Robotics development at school] / I.R. Gaiysina // Pedagogicheskoe masterstvo (II): materialyi mezhdunar. zaoch. nauch. konph. [Pedagogical skill (II): materials of the international correspondence scientific conference] // — М.: Buki-Vedi, 2012. — PP. 105-107. [in Russian]
5. Saranin V.A. Eksperimentallyenyye issledovatelyeskie zadaniya po fizike. 7 – 11 klassy [Experimental research tasks on the physicist. 7 - 11 classes] / V.A. Saranin, Yu. V. Ivanov. — М.: VAKO, 2015. — P. 34. [in Russian]
6. Irodov I.E. Zadachi po obchey fizike: Ucheb. Posobie. 2-e isd., pererab. [Problems on the general physics: the Manual. - 2 edition processed] / I.E. Irodov. — М.: Nauka, 1988. — P. 163. [in Russian]
7. Fizika: 3800 zadach dlya shkolyenikov i postupayutchiy v vuzy [Physics: 3800 problems for schoolboys and arriving in high schools / Authors-composers N.V. Turchina, L.I.Rudakov, O.I.Surov and others]. — М.: Drofa, 2000. — P. 391. [in Russian]
8. Beliovskii N.A. Ispolyezovanie LEGO-robotov v injenernykh proektakh shkolyenikov. Otrasleyoiy podhod [Use of LEGO-robots in engineering projects of schoolboys. The branch approach] / N.A. Beliovskii, L.G. Beliovskaya. М.: DМК-Press, 2016. — 88 p. [in Russian]

9. Vse resheniya k "Sborniku zadach po obtchemu kursu fiziki" V.S. Volyekenshtein. V 2 kn. Kn. 1. [All decisions to «to the Collection of problems at the general course of physics» V.S. Volkenshtein. In 2 books. The book 1]. – M.: Olimp: ООО «Firma «Izdatelystvo AST»», 1999. – P. 163. [in Russian]

10. Butyrskiy G.A. Shkolyenyiy fizicheskiy praktikum: uchebnoe posobie dlya studentov, magistrantov, uchiteley fiziki i aspirantov [School physical practical work: the manual for students, undergraduate, teachers of physics and post-graduate students] / G.A. Butyrskiy. – Kirov: ООО Izdatelystvo "Raduga-PRESS", 2015. – P. 23. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.63.043>

Сдвижков О.А.

Кандидат физико-математических наук, доцент,

Российский государственный университет туризма и сервиса

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ПОЛИНОМЫ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Аннотация

Вводится понятие характеристического полинома булевой функции, имеющего заданную поляризацию переменных, и рассматривается метод представления булевой функции полиномом Риды-Маллера (каноническим поляризованным полиномом) с помощью характеристического полинома этой функции.

Доказывается, что значения характеристического полинома совпадают с соответствующими коэффициентами полинома Риды-Маллера, приводится линейный алгоритм нахождения коэффициентов полинома Риды-Маллера.

Отдельно рассматриваются положительно поляризованные характеристические полиномы и задачи, связанные с ними, включая проверку принадлежности булевой функции классу линейных функций.

Приведены примеры применения характеристических полиномов к нахождению полиномов Риды-Маллера, доопределению частичной булевой функции до линейной и проверке булевой функции на линейность.

Ключевые слова: булева функция, поляризованная переменная, суммирование по модулю 2.

Sdvizhkov O.A.

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,

Russian State University of Tourism and Service

CHARACTERISTIC POLYNOMIALS OF BOOLEAN FUNCTIONS

Abstract

In this article we introduce the notion of a characteristic polynomial of a Boolean function having a given polarization of variables and consider a method for representing a Boolean function by the Reed-Muller polynomial (the canonical polarized polynomial) using the characteristic polynomial of this function.

It is proved that the values of the characteristic polynomial coincide with the corresponding coefficients of the Reed-Muller polynomial and a linear algorithm for finding the coefficients of the Reed-Muller polynomial is presented.

We also consider positively polarized characteristic polynomials and problems associated with them, including checking whether the Boolean function belongs to the class of linear functions.

Examples of the application of characteristic polynomials to the determination of Reed-Muller polynomials, the extension of a partial Boolean function to a linear function and the verification of a Boolean function for linearity are given.

Keywords: Boolean function, polarized variable, modulo 2 addition.

Введение

Полиномы Риды-Маллера булевой функции $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ являются обобщениями полиномов Жегалкина, играющих огромную роль в построение логических схем и анализе систем булевых функций. Методы нахождения полиномов Риды-Маллера подробно рассматриваются в [7], [10], все они, следует признать, достаточно трудоемкие.

Предлагается ввести для булевой функции $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ понятие характеристического полинома с заданной поляризацией переменных и с его помощью находить полиномы Риды-Маллера, что значительно упрощает вычисления и решения задач, связанных с этими коэффициентами.

Следует обратить внимание на определение степени, которое применяется в статье. В нем показатель степени, чтобы не путать с булевой степенью [1, С. 24], имеет круглые скобки. Однако сказать, что это алгебраическая степень – нельзя, так как $0^{(0)} = 1$.

Приведены примеры, нахождения в Excel 2013 значений характеристического полинома, полинома Жегалкина заданной функции, проверке булевой функции на линейность и доопределения частичной булевой функции до линейной с помощью характеристического полинома и надстройки «Поиск решения» (в оригинале «Solver»).

§ 1. Характеристические полиномы булевых функций

Следует напомнить [7], что полином булевой функции $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, в слагаемые которого одна часть переменных входит только с отрицаниями, а другая – только без отрицания, называется полиномом Риды-Маллера (каноническим поляризованным полиномом).

Такие полиномы обозначаются $P_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$, где двоичное слово $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$ задает поляризацию переменных, то есть показывает какие переменные входят с отрицаниями, а какие без отрицаний, значениям 0 соответствуют положительно поляризованные переменные (без отрицаний), а значениям 1 – отрицательно поляризованные переменные (с отрицаниями). Всего таких полиномов 2^n .

Назовем характеристическим полиномом функции $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, поляризация переменных которого $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$, полином $S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$, имеющий вид:

$$S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f) = \bigoplus_{\sigma_1, \dots, \sigma_n} f(\sigma_1 \oplus \alpha_1, \dots, \sigma_n \oplus \alpha_n) (x_1 \oplus \alpha_1)^{(\sigma_1)} \dots (x_n \oplus \alpha_n)^{(\sigma_n)}, \quad (1)$$

где

$$x^{(\sigma_i)} = \begin{cases} 1, & \sigma_i = 0 \\ x, & \sigma_i = 1 \end{cases}$$

Понятно, что каждая функция $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ имеет 2^n характеристических полиномов. Например, при $n=2$ они имеют вид:

$$S_{00}(f) = f(0,0) \oplus f(1,0)x_1 \oplus f(0,1)x_2 \oplus f(1,1)x_1x_2$$

$$S_{10}(f) = f(1,0) \oplus f(0,0)\bar{x}_1 \oplus f(1,1)x_2 \oplus f(0,1)\bar{x}_1x_2$$

$$S_{01}(f) = f(0,1) \oplus f(1,1)x_1 \oplus f(0,0)\bar{x}_2 \oplus f(1,0)x_1\bar{x}_2$$

$$S_{11}(f) = f(1,1) \oplus f(0,1)\bar{x}_1 \oplus f(1,0)\bar{x}_2 \oplus f(0,0)\bar{x}_1\bar{x}_2$$

Пусть функция f задана таблица истинности:

Таблица 1

x	y	z	f
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Тогда по формуле (1) получаем 8 характеристических полиномов:

$$S_{000}(f) = y \oplus yz \oplus xz \oplus xyz \quad S_{100}(f) = z \oplus \bar{x}y \oplus yz \oplus \bar{x}yz \quad S_{010}(f) = 1 \oplus z \oplus xz \oplus x\bar{y}z$$

$$S_{001}(f) = x \oplus y \oplus xy \oplus y\bar{z} \quad S_{110}(f) = \bar{x} \oplus z \oplus \bar{x}z \oplus \bar{y}z \quad S_{101}(f) = 1 \oplus y \oplus \bar{x}yz \oplus \bar{x}y$$

$$S_{011}(f) = 1 \oplus x \oplus \bar{z} \oplus x\bar{y} \quad S_{111}(f) = 1 \oplus \bar{x} \oplus \bar{y} \oplus \bar{x}\bar{z}$$

Действительно, например:

$$\begin{aligned} S_{101}(f) &= f(0 \oplus 1, 0 \oplus 0, 0 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(0)}(y \oplus 0)^{(0)}(z \oplus 1)^{(0)} \oplus f(0 \oplus 1, 0 \oplus 0, 1 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(0)} \cdot \\ &\quad (y \oplus 0)^{(0)}(z \oplus 1)^{(1)} \oplus f(0 \oplus 1, 1 \oplus 0, 0 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(0)}(y \oplus 0)^{(1)}(z \oplus 1)^{(0)} \oplus f(0 \oplus 1, 1 \oplus 0, 1 \oplus 1) \\ &\quad (x \oplus 1)^{(0)}(y \oplus 0)^{(1)}(z \oplus 1)^{(1)} \oplus f(1 \oplus 1, 0 \oplus 0, 0 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(1)}(y \oplus 0)^{(0)}(z \oplus 1)^{(0)} \oplus \\ &\quad f(1 \oplus 1, 0 \oplus 0, 1 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(1)}(y \oplus 0)^{(0)}(z \oplus 1)^{(1)} \oplus f(1 \oplus 1, 1 \oplus 0, 0 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(1)}(y \oplus 0)^{(1)} \\ &\quad (z \oplus 1)^{(0)} \oplus f(1 \oplus 1, 1 \oplus 0, 1 \oplus 1)(x \oplus 1)^{(1)}(y \oplus 0)^{(1)}(z \oplus 1)^{(1)} \end{aligned}$$

Откуда следует:

$$\begin{aligned} S_{101}(f) &= f(1,0,1) \oplus f(1,0,0)\bar{z} \oplus f(1,1,1)y \oplus f(1,1,0)y\bar{z} \oplus f(0,0,1)\bar{x} \oplus \\ &\quad f(0,0,0)\bar{x}\bar{z} \oplus f(0,1,1)\bar{x}y \oplus f(0,1,0)\bar{x}y\bar{z} = 1 \oplus y \oplus \bar{x}y \oplus \bar{x}y\bar{z} \end{aligned}$$

Пример 1. Найти значения полинома $S_{000}(f)$, полученного по таблице 1.

Открываем Excel, вводим в диапазон A1:D9 таблицу 1, затем, записывая в ячейке F2 формулу этого полинома =ОСТАТ(B2+B2*C2+A2*C2+A2*B2*C2;2) и копируя ее в остальные ячейки диапазона F2:F9, получаем столбец значений полинома $S_{000}(f)$:

	A	B	C	D	E	F
1	x	y	z	f		S
2	0	0	0	0		0
3	0	0	1	0		0
4	0	1	0	1		1
5	0	1	1	1		0
6	1	0	0	0		0
7	1	0	1	1		1
8	1	1	0	0		1
9	1	1	1	1		0

Рис. 1 – Значения полинома $S_{000}(f)$

§ 2. Нахождение полиномов Риды-Маллера с помощью характеристических полиномов

По характеристическому полиному $S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(f)$ можно, в свою очередь, найти характеристический полином $S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(f))$.

Теорема 1. Характеристический полином $S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(f))$ является полиномом Риды-Маллера функции $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$:

$$P_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(f) = S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(f))$$

Доказательство сводится к доказательству истинности равенства:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(S_{\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n}(f)) \quad (2)$$

Для функций двух переменных оно истинно при всех двоичных $\alpha_1\alpha_2$. Например, вычисляя значения характеристического полинома

$$S_{10}(f) = f(1,0) \oplus f(0,0)\bar{x}_1 \oplus f(1,1)x_2 \oplus f(0,1)\bar{x}_1x_2,$$

получаем:

$$S_{10}(f)|_{(0,0)} = f(1,0) \oplus f(0,0)$$

$$S_{10}(f)|_{(0,1)} = f(1,0) \oplus f(0,0) \oplus f(1,1) \oplus f(0,1)$$

$$S_{10}(f)|_{(1,0)} = f(1,0)$$

$$S_{10}(f)|_{(1,1)} = f(1,0) \oplus f(1,1)$$

Поэтому

$$S_{10}(S_{10}(f)) = f(1,0) \oplus (f(1,0) \oplus f(0,0))\bar{x}_1 \oplus (f(1,0) \oplus f(1,1))x_2 \oplus (f(1,0) \oplus f(0,0) \oplus f(1,1) \oplus f(0,1))\bar{x}_1x_2$$

Вычисления значений полинома $S_{10}(S_{10}(f))$ показывают, что (2) выполняется:

$$S_{10}(S_{10}(f))|_{(0,0)} = f(1,0) \oplus f(1,0) \oplus f(0,0) = f(0,0)$$

$$S_{10}(S_{10}(f))|_{(0,1)} = f(1,0) \oplus f(1,0) \oplus f(0,0) \oplus f(1,0) \oplus f(1,1) \oplus$$

$$f(1,0) \oplus f(0,0) \oplus f(1,1) \oplus f(0,1) = f(0,1)$$

$$S_{10}(S_{10}(f))|_{(1,0)} = f(1,0)$$

$$S_{10}(S_{10}(f))|_{(1,1)} = f(1,0) \oplus f(1,0) \oplus f(1,1) = f(1,1)$$

Пусть (2) истинно при $n-1$ переменных. Для доказательства, что оно истинно и при n переменных, воспользуемся соотношением:

$$f(x_1, \ldots, x_n) = \bar{x}_n f(x_1, \ldots, x_{n-1}, 0) \vee x_n f(x_1, \ldots, x_{n-1}, 1),$$

Так как $a \vee b = a \oplus b \oplus ab$, $\bar{x}_n x_n = 0$, из него следует:

$$f(x_1, \ldots, x_n) = \bar{x}_n f(x_1, \ldots, x_{n-1}, 0) \oplus x_n f(x_1, \ldots, x_{n-1}, 1)$$

Подстановка $\bar{x}_n = x_n \oplus 1$, если $\alpha_n = 0$, и подстановка $x_n = \bar{x}_n \oplus 1$, если $\alpha_n = 1$, приводит правую часть к требуемому виду.

Следствие 1. Коэффициент при конъюнкции $(x_1 \oplus \alpha_1)^{(\xi_1)} \dots (x_n \oplus \alpha_n)^{(\xi_n)}$, $\xi_i \in \{0,1\}$, в полиноме $P_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$ равен значению характеристического полинома $S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$ на наборе $(\xi_1 \oplus \alpha_1, \dots, \xi_n \oplus \alpha_n)$.

В силу теоремы 1, справедлив следующий алгоритм нахождения $P_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$.

1. По формуле (1) находится характеристический полином $S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$.
2. Составляется таблица истинности полинома $S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f)$.
3. По формуле (1) записывается полином $P_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f) = S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(S_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(f))$.

Например, найдем с помощью алгоритма полином $P_{101}(f)$, где f задана таблицей 1. В этом случае, как показано выше:

$$S_{101}(f) = 1 \oplus y \oplus \bar{x}y\bar{z} \oplus \bar{x}y$$

Составляя таблицу истинности полинома $S_{101}(f)$, получаем:

Таблица 2

x	y	z	S
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

Применение формулы (1) дает:

$$P_{101}(f) = f(1,0,1) \oplus f(1,0,0)\bar{z} \oplus f(1,1,1)y \oplus f(1,1,0)y\bar{z} \oplus f(0,0,1)\bar{x} \oplus f(0,0,0)\bar{x}\bar{z} \oplus f(0,1,1)\bar{x}y \oplus f(0,1,0)\bar{x}y\bar{z},$$

то есть

$$P_{101}(f) = 1 \oplus \bar{z} \oplus \bar{x} \oplus \bar{x}\bar{z} \oplus \bar{x}y$$

Следует заметить, что вычисления значений полученного полинома приводят к значениям функции $f=(00110101)$, как и должно быть.

§ 3. Положительно поляризованные характеристические полиномы

Полиномы $P_{00\dots 0}(f)$, обозначаемые также $P(f)$, являются [7, 8] положительно поляризованными полиномами – полиномами Жегалкина функций $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n = 00\dots 0$ формула (1) определяет положительно поляризованные характеристические полиномы:

$$S(f) = \bigoplus_{\sigma_1, \dots, \sigma_n} f(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) x_1^{(\sigma_1)} x_2^{(\sigma_2)} \dots x_n^{(\sigma_n)}$$

В силу следствия 1, коэффициент при $x_1^{(\xi_1)} x_2^{(\xi_2)} \dots x_n^{(\xi_n)}$ в полиноме $P(f)$ равен значению полинома $S(f)$ на наборе $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$, то есть

$$P(f) = \bigoplus_{\xi_1, \dots, \xi_n} S(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) x_1^{(\xi_1)} x_2^{(\xi_2)} \dots x_n^{(\xi_n)} \quad (3)$$

Развернутый вид этой формулы:

$$P(f) = \bigoplus_{\xi_1, \dots, \xi_n} \bigoplus_{\sigma_1, \dots, \sigma_n} f(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \xi_1^{(\sigma_1)} \xi_2^{(\sigma_2)} \dots \xi_n^{(\sigma_n)} x_1^{(\xi_1)} x_2^{(\xi_2)} \dots x_n^{(\xi_n)}$$

В частности, по значениям полинома S , показанных на рисунке 1, применяя формулу (3), получаем, что для булевой функции заданной таблицей 1 полином Жегалкина имеет вид:

$$P(f) = y \oplus xz \oplus xy$$

На рисунке 2 показано, что значения полученного полинома совпадают со значениями функции f :

H2		:			=OCTAT(B2+A2*C2+A2*B2;2)			
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	x	y	z	f		S		P
2	0	0	0	0		0		0
3	0	0	1	0		0		0
4	0	1	0	1		1		1
5	0	1	1	1		0		1
6	1	0	0	0		0		0
7	1	0	1	1		1		1
8	1	1	0	0		1		0
9	1	1	1	1		0		1

Рис. 2 – Значения полинома $P(f)$

Для линейных функций, образующих замкнутый класс L [9, С. 33], выполняется:

$$f = P(f) = a_0 \oplus a_1 x_1 \oplus a_2 x_2 \oplus \dots \oplus a_n x_n.$$

Пример 2. Применяя характеристический полином, проверить функцию $f = (11000011)$ на линейность.

1. Вводим в диапазон A1:D8 таблицу истинности и копируем ее.
2. Выделяем диапазон E9:L12, открываем контекстное меню, где выбираем опцию «Специальная вставка» и в ее диалоговом окне отмечаем «значения» и «транспонировать», что подтверждаем ОК.
3. В ячейку E1 вводим формулу: =E\$12*ЕСЛИ(E\$9=1;\$A1;1)*ЕСЛИ(E\$10=1;\$B1;1)*ЕСЛИ(E\$11=1;\$C1;1). Копируем ее в остальные ячейки диапазона E1:L8.
4. В ячейке M1 записываем формулу =ОСТАТ(СУММ(E1:L1);2) и копируем ее в остальные ячейки диапазона M1:M8, что возвращает в нем коэффициенты полинома Жегалкина.
- 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
9					0	0	0	0	1	1	1	1	
10					0	0	1	1	0	0	1	1	
11					0	1	0	1	0	1	0	1	
12					1	1	0	0	0	0	1	1	

Рис. 3 – Проверка $f = (11000011)$ на линейность

Из данных диапазонов A1:C8, M1:M8 следует $f = 1 \oplus x \oplus y$, то есть $f \in L$.

Пример 3. Применяя характеристический полином, доопределить частичную булеву функцию $f = (-110---0)$ до линейной функции.

Первые четыре пункта такие же, как в предыдущем примере, только в диапазон D1:D8 (пункт 1) вместо прочерков вставляем, например, нули и считаем значения этих ячеек изменяемыми (заливаем их желтым цветом).

5. В ячейку N9 вводим формулу суммы коэффициентов полинома Жегалкина при произведениях переменных =M4+M6+M7+M8.

6. Вызываем надстройку «Поиск решения» [3, 4] и задаем сценарий поиска решения:

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☐ Минимум ☒ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

☐ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Рис. 3 – Сценарий поиска решения

7. Кнопка «Найти решение» возвращает сообщение «В ходе поиска невозможно улучшить текущее решение» и текущее решение, показывающее, что $f=(01100110)$:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
4	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
7	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
8	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
9					0	0	0	0	1	1	1	1		0
10					0	0	1	1	0	0	1	1		
11					0	1	0	1	0	1	0	1		
12					0	1	1	0	0	1	1	0		

Рис. 4 – Результаты поиска решения

Нахождение f логическими рассуждениями приведено в [2, С. 68].

Пример 4. Проверить функцию $f=(1001011010010110)$ на линейность

Шагами, аналогичными шагам 1 – 4 примера 2, получаем (данные диапазона F17:U21, для компактности рисунка, не приводятся), что $f \in L$:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
13	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
15	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
16	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0

Рис. 4 – Проверка $f=(1001011010010110)$ на линейность

Заключение

Приведенные примеры показывают, что характеристические полиномы позволяют достаточно просто находить коэффициенты полиномов Рида-Маллера и решать задачи, связанные с ними, особенно, пользуясь технологиями Excel. Можно пользоваться и другими информационными математическими технологиями [5, 6].

Предлагаемый метод, нахождения коэффициентов полиномов Рида-Маллера с помощью характеристических полиномов, несомненно, будет полезен при изучении полиномов Рида-Маллера и в научных исследованиях, связанных с ними.

Список литературы / References

1. Ерусалимский Я.М. Дискретная математика: теория, задачи, приложения. 3-е издание. / Я.М. Ерусалимский – М.: Вузовская книга, 2000. – 280 с.
2. Гаврилов Г.П., Сапоженко А.А. Задачи и упражнения по дискретной математике: Учеб. пособие. / Г.П. Гаврилов, А.А. Сапоженко – 3-е изд., перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 416 с.
3. Сдвижков О.А. Дискретная математика и математические методы экономики с применением VBA Excel. / О.А. Сдвижков – М.: ДМК Пресс, 2012. – 212 с.
4. Сдвижков О.А. Математика в Excel 2003. / О.А. Сдвижков – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 192 с.
5. Сдвижков О.А. Математика на компьютере: Maple 8. / О.А. Сдвижков – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 176 с.
6. Сдвижков О.А. MathCAD-2000. / О.А. Сдвижков – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2002. – 204 с.
7. Супрун В.П. Основы теории булевых функций. / В.П. Супрун – М.: ЛЕНАНД, 2017. – 208 с.
8. Супрун В.П. Табличный метод полиномиального разложения булевых функций / В.П. Супрун // Журнал «Кибернетика», 1987, № 1. – С. 116 – 117.
9. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику. / С.В. Яблонский – М.: Наука, 1986. – 384 с.
10. Harking B. Efficient algorithm for canonical Reed-Muller expansions of Boolean functions // IEE Proc. E, Computers and Digital Techniques. 1990. Vol. 137. №5. P. 366-370.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Erusalimskij Ja.M. Diskretnaja matematika: teorija, zadachi, prilozhenija. 3-e izdanie [Discrete mathematics: the theory, task, appendix. 3 editions] / Ja.M. Erusalimskij – М.: Vuzovskaja kniga, 2000. – 280 p. [in Russian]
2. Gavrilov G.P., Sapozhenko A.A. Zadachi i uprazhnenija po diskretnoj matematike: Ucheb. posobie. – 3-e izd., pererab. [Tasks and exercises on discrete mathematics: studies] / G.P. Gavrilov, A.A. Sapozhenko – М.: FIZMATLIT, 2003. – 416 p. [in Russian]
3. Sdvizhkov O.A. Diskretnaja matematika i matematicheskie metody jekonomiki s primeneniem VBA Excel [Discrete mathematics and mathematical methods of economy with application VBA Excel] / O.A. Sdvizhkov – М.: DMK Press, 2012. – 212 p. [in Russian]
4. Sdvizhkov O.A. Matematika v Excel 2003 [Mathematics in Excel 2003] / O.A. Sdvizhkov – М.: SOLON-Press, 2005. – 192 p. [in Russian]
5. Sdvizhkov O.A. Matematika na komp'jutere: Maple 8 [Mathematics on the computer: Maple 8] / O.A. Sdvizhkov – М.: SOLON-Press, 2003. – 176 p. [in Russian]
6. Sdvizhkov O.A. MathCAD-2000 [MathCAD-2000] / O.A. Sdvizhkov – М.: Izdatelsko-torgovaja korporacija «Dashkov and C», 2002. – 204 p. [in Russian]
7. Suprun V.P. Osnovy teorii bulevyh funkcij [Bases of the theory Boolean functions] / V.P. Suprun – М.: LENAND, 2017. – 208 p. [in Russian]
8. Suprun V.P. Tablichnyj metod polinomial'nogo razlozhenija bulevyh funkcij [A tabulated method polynomial of decomposition Boolean functions] / V.P. Suprun // Journal «Cybernetics», 1987, № 1. – P. 116 – 117. [in Russian]
9. Jablonskij S.V. Vvedenie v diskretnuju matematiku [Introduction in discrete mathematics] / S.V. Jablonskij – М.: Science, 1986. – 384 p. [in Russian]
10. Harking B. Efficient algorithm for canonical Reed-Muller expansions of Boolean functions // IEE Proc. E, Computers and Digital Techniques. 1990. Vol. 137. №5. P. 366-370.