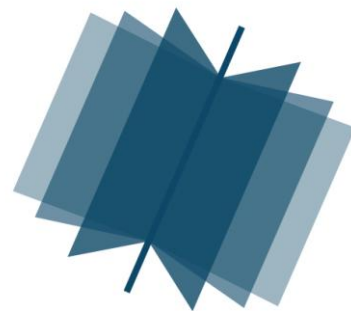


**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

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

Екатеринбург
2018



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

№ 01 (67) 2018

Часть 1

Январь

Подписано в печать 29.12.2017
Тираж 900 экз.
Заказ 27089.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

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). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПН № 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.

**Екатеринбург
2018**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

| | |
|---|----|
| О ПРИРОДЕ ЧАСТИЧНОГО УМЕНЬШЕНИЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ТВЕРДОГО ГЕЛИЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ | 6 |
| ЯДЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ОВЕРХАУЗЕРА В МОЛЕКУЛЕ АПИГЕНИНА | 9 |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО КАНАЛАМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ..... | 12 |
| РОЛЬ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ГЕНЕРАЦИИ ЗАВИХРЕННОСТИ ТАЙФУНОВ И ТОРНАДО | 17 |

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

| | |
|---|-----|
| АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ НА ФЕДОРОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА АС7-8..... | 22 |
| ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЭТАПЕ ИХ АНАЛИЗА | 25 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГРАММ ВОРОНОГО ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ИХ ЗОН ОТВЕТСТВЕННОСТИ | 28 |
| ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ NDVI СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ..... | 34 |
| ТРЕХМЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ | 38 |
| АДАПТИВНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕГИСТРАЦИОННОГО НОМЕРА АВТОМОБИЛЯ | 44 |
| ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ | 47 |
| ОБОСНОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ..... | 51 |
| АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ..... | 55 |
| РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ С НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИЕЙ..... | 61 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ НА КАРТИНЫ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА | 66 |
| ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ОМСКОМ РЕГИОНЕ..... | 70 |
| РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КПД В КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД | 73 |
| ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТУРБИН ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С БАНДАЖНОЙ ПОЛКОЙ | 84 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ, МЕТОДОВ РАСЧЕТА, АНАЛИЗА И ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРГАРМОНИК В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ | 91 |
| СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПО УСИЛИЮ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИЛОКОМПЕНСИРУЮЩИХ СИСТЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОСМОНАВТОВ | 96 |
| СВОЙСТВА ГРАВЕЛИСТЫХ ГРУНТОВ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ | 101 |
| ТОЧЕЧНО-ЭПИЮРНЫЕ ДВУХОКТАНТОВЫЕ НОМОГРАММЫ..... | 105 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ..... | 110 |
| МОНИТОРИНГ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ..... | 115 |
| ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА УРОВЕНЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ | 119 |
| ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ FLEXSIM В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ | 124 |

| | |
|--|-----|
| СТАНДАРТИЗАЦИЯ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ | 128 |
| ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПРИ ПИТАНИИ ФАЗНЫХ ОБМОТОК СИНУСОИДАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ВРЕМЕНИ | 131 |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУЛЬДОЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ..... | 135 |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ | 142 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ ИЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ДОЩАТО-КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВОПЛИТ | 149 |
| РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ | 156 |
| ПОВЫШЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ БРОНЕЙ МЕЛЬНИЦЫ ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ | 159 |

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

| | |
|---|-----|
| СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИММОБИЛИЗАЦИИ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА <i>BACILLUS</i> <i>SUBTILIS</i> НА ХИТОЗАНЕ | 165 |
| АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ИНГИБИТОРОВ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ГИДРОПЕРЕКИСИ ПИНАНА | 169 |

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS

| | |
|---|-----|
| ИЗУЧЕНИЕ СПРОСА НА ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СРЕДСТВА, СОДЕРЖАЩИЕ ИБУПРОФЕН | 172 |
| АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ ГЕРАНИ ЛЕСНОЙ (<i>GERANIUM</i> <i>SYLVATICUM L.</i>) | 175 |

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.111>Гневко А.И.¹, Соловов С.Н.², Янушкевич В.А.³¹доктор технических наук, профессор, ²кандидат технических наук, доцент,³доктор физико-математических наук, профессор,

ВА РВСН им. Петра Великого.

О ПРИРОДЕ ЧАСТИЧНОГО УМЕНЬШЕНИЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ТВЕРДОГО ГЕЛИЯ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

Аннотация

В работе показана принципиальная возможность объяснения природы снижения момента инерции твердого гелия при охлаждении на основе твердотельной модели физического вакуума МСВ. Обнаруженное явление вызывается тем, что часть гелия переходит в состояние, при котором энергия, необходимая для перемещения этой части в любом направлении, черпается из энергии вакуума. Поэтому не требуется перемещения гелия относительно твердого тела, в котором он содержится, для того, чтобы тело как бы утратило часть своей исходной массы. Проявляется уменьшение массы тела в изменениях частоты колебаний крутильного маятника, изготовленного из твердого тела, содержащего гелий в капиллярах.

Ключевые слова: снижение инерции твердого гелия, охлаждение.

Gnevko A.I.¹, Solovov S.N.², Yanushkevich V.A.³¹ PhD in Engineering, professor, ² PhD in Engineering, associate professor,³ PhD in Physics and Mathematics, professor,

Peter the Great Strategic Missile Troops Academy

ON NATURE OF PARTIAL DECREASE OF INERTIA MOMENT OF SOLID HELIUM INERSON AT COOLING

Abstract

The paper shows the possibility in principle of explaining the nature of the reduction of inertia moment of solid helium at cooling based on the solid-state model of the physical vacuum of MSV. The observed phenomenon is caused by the fact that part of the helium passes into a state in which the energy needed to move this part in any direction is drawn from the energy of the vacuum. Therefore, it is not necessary to move helium with respect to the solid body in which it is contained, in order for the body to lose some of its original mass. There is a decrease in body weight in changes in the vibration frequency of a torsion pendulum made of a solid body containing helium in the capillaries.

Keywords: decrease of inertia of solid helium, cooling.

Сравнительно недавно было обнаружено, что момент инерции твердого гелия частично уменьшается при охлаждении [1], [2]. Ничего удивительного для жидкого гелия, часть которого превращается в сверхтекучую фазу, в таком уменьшении нет. Считают, что сверхтекучая часть в жидком гелии не реагирует на ускорение или замедление вращения, свободно перемещаясь внутри жидкости. Но в твердом гелии такое перемещение невозможно.

Вместе с тем, объяснение обнаруженного явления возможно с позиций модели, основанной на аналогиях в поведении физического вакуума и сжатого твердого тела – МСВ [3], [6], [7]. Модели физического вакуума, основанные на аналогиях с твердым телом, рассматривались, например, в работах [4], [5]. Отличительной особенностью МСВ от этих моделей является предположение о том, что окружающий нашу Метагалактику вакуум сжат до наступления микропластических деформаций. В твердотельных моделях вещество представляется в виде дефектов структуры вакуума, отвечающих вакансиям в структуре твердого тела. Антивещество отвечает межузельным атомам. Микропластические деформации приводят к генерации и лавинообразному нарастанию излучения продольных упругих волн частицами вещества и антивещества. Похожие процессы, но для поперечных (электромагнитных) волн, наблюдаются в лазерах. Таким образом, и бозоны и фермионы служат генераторами продольных волн, преобразуя энергию сжатия вакуума в энергию волн и другие виды энергии. Обладая скоростью, многократно превышающей скорость света, продольные волны образуют стоячую картину, определяющую квантовые свойства микрочастиц.

Основными следствиями, вытекающими из модели, служат дополнения к закону гравитации Ньютона, ускорения тел, движущихся по инерции, и очень высокая скорость продольных волн. Особенности гравитации по МСВ позволяют объяснить, например, проявления темной материи для галактик.

Но для объяснения уменьшения момента инерции твердого гелия может быть использовано ускоренное движение по инерции. Природа возникающего при движении ускорения определяется так называемым эффектом дождя. На движущееся относительно вертикально падающего дождя тело капли падают не вертикально, а под некоторым углом, вызывая действие некоторых сил в направлении движения. Согласно МСВ в результате излучения всеми частицами вещества и антивещества продольных волн в нашей Метагалактике существует мощный фон этих волн.

Движение микрочастиц вещества относительно фона приводит к дополнительному их усилению, что отражает выражение

$$d(mv)/dt = 2yI_0vmA/c_t \quad (1)$$

где c_t – фазовая скорость продольных волн (ПВ) в вакууме;

v – скорость движения нуклона относительно фона продольных волн;

m – масса нуклона с учетом его скорости;

y – безразмерный коэффициент, учитывающий особенности пространственного распределения сил ($\approx 2\pi$);

I_0 – интенсивность фона продольных волн;

A – коэффициент усиления продольных волн (ПВ).

Выражение (1) аналогично уравнению реактивного движения с тем отличием, что масса частицы не расходуется, а ускорение достигается за счёт усиления излучения ПВ в направлении, противоположном направлению её движения. Приращение импульса и энергии является одним из механизмов диссипации энергии сжатия вакуума (источник энергии – вакуум). Отмеченное приращение очень мало и не превосходило точности измерения приращений энергии в подавляющем числе экспериментов, что маскировало эффект.

Сдерживает неограниченное увеличение скорости сила инерции, вызываемая рассеянным излучением ускоряющимся телом ПВ на собственных для тела и его частей частотах (аналог действия сил трения в твёрдом теле) и тем, что переходы на новые скорости (соответствует новым относительно устойчивым положениям) требуют квантов действия.

Для оценок изменений скорости нуклона массой m_0 и соответствующих изменений мощности излучения ПВ при движении воспользуемся, в первом приближении, зависимостями специальной теории относительности (СТО). Следует отметить, что применительно к перемещению дислокаций в твёрдом теле зависимость, подобная зависимости СТО, также установлена. Тогда из (1) следует

$$m_0 v' v^2 / c^2 (1 - v^2 / c^2) + m_0 v' = 2 v m_0 I_0 y A / c_r = m_0 v' c^2 / (c^2 - v^2) \quad (2)$$

Общее решение

$$v = v_0 / [(v_0^2 / c^2) + (1 - v_0^2 / c^2) \exp(-2 H_r t)]^{1/2}.$$

Здесь v – скорость нуклона в инерциальной системе отсчета.

Для случая $v \ll c$ получаем

$$v' / v \approx 2 I_0 y A / c_r \quad (3)$$

откуда

$$v \approx v_0 e^{H_r t},$$

где $H_r \approx 2 I_0 y A / c_r$ – постоянная «сверхкинетики»,

v_0 – начальное значение v .

Интегрирование приводит к выражению, которое аналогично закону Хаббла, что позволяет предполагать одной из причин ускоренного расширения Вселенной выявленную закономерность.

Для случая $v \rightarrow c$ уравнение (2) принимает вид

$$v' c^2 / v (c^2 - v^2) = H_r \quad (4)$$

Следовательно, т. к. $v \neq 0$, $c \neq 0$, $H_r \neq 0$, $v' \rightarrow 0$.

Таким образом, ускорение с ростом скорости возрастает от нуля до некоторого максимума ($v_{\max} = 1/3^{1/2} c$, $v'_{\max} \approx 0,385 H_r c$) в соответствии с (3), а затем, при приближении к скорости света, снова падает до нуля, что определяется общим увеличением продольного излучения частицы (иногда его называют увеличением массы) и соответствующим увеличением доли ПВ, не поддерживающих ускорение, а излучаемых под углом к скорости движения. В первом приближении H_r принимаем равной постоянной Хаббла $H \approx 3 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$.

Малая величина такого ускорения мешала его обнаружению при движении макроскопических объектов на Земле. Вместе с тем, при длительном времени действия ускорения на большие массы, оно проявляется, например, в повышенной угловой скорости движения жидких планет и Солнца на экваторе в сравнении с полюсами [7], концентрации момента количества движения солнечной системы в планетах [7], высокой энергии космических лучей и гамма всплесков в окрестностях Земли [7], росте удаления Солнца от центра Галактики [7] и других многих явлениях.

На микроскопическом уровне это ускорение обнаруживается в самопроизвольном распаде частиц, состоящих из нескольких составляющих [7], явлениях сверхпроводимости, сверхтекучести [7] и других явлениях.

Рассмотрим случай [1], [2], когда уменьшается момент инерции тела при охлаждении твёрдого гелия. Часть микрочастиц, из которых состоит твёрдый гелий, при охлаждении приобретает (в соответствии с МСВ) способность, двигаясь по инерции, увеличивать свою скорость. В обычных температурных условиях увеличение скорости приводит к столкновению с окружающими частицами. Поэтому получаемая добавочная энергия распределяется между всеми микрочастицами и быстрые частицы тормозятся. Но, с понижением температуры, передача энергии от частицы к частице путём столкновений замедляется, поскольку уменьшается интенсивность собственных колебаний микрочастиц. Поэтому движение в любом направлении части микрочастиц, для которых обмен энергией с окружающими микрочастицами затруднён, не будет требовать затрат энергии. Такие микрочастицы теряют инерцию. Они перемещаются вместе с твёрдым телом в произвольном направлении, не меняя взаимного расположения составляющих тело микрочастиц.

При этом дополнительной энергии для компенсации инерции не требуется, поскольку необходимая энергия для движения в любом направлении берётся из вакуума. Таким образом, часть микрочастиц, оставаясь в составе твёрдого тела, теряет инерционные свойства и приобретает свойства аналогичные сверхтекучести в жидком гелии. Для «сверхтекучей» части твёрдого гелия энергия, затрачиваемая на хаотические колебания микрочастиц и взаимодействие с внешней средой, (при достаточном охлаждении) становится меньше, чем энергия, приобретаемая из вакуума за счёт коллективного, согласованного, упорядоченного движения микрочастиц.

Обладающие «сверхтекучестью» микрочастицы входят в образующийся в твёрдом теле квантовый конденсат. Сверхтекучее состояние приобретают не все частицы, а те для которых направление собственных (нулевых) колебаний совпадает с направлением перемещения твёрдого тела. Перемещение части частиц, обладающих «сверхтекучестью», не требует затрат энергии, поэтому уменьшается момент количества движения и всего твёрдого тела, состоящего из твёрдого гелия. В ходе такого процесса согласованного движения атомы гелия, перешедшие в «сверхтекучее» состояние, могут оставаться в областях узлов кристаллической решётки движущегося тела, сохраняя дальний порядок, свойственный твёрдой фазе.

Таким образом, оценка изменений момента инерции твёрдого гелия при охлаждении может производиться на основе МСВ. Следует также ожидать ступенчатого уменьшения момента инерции при дальнейшем охлаждении твёрдого гелия, что свойственно явлениям, имеющим квантовую природу.

Существенно, что непротиворечивое объяснение обнаруженного явления на основании стандартной физической модели, а также известных новых моделей «теорий всего» [8], [9], [10] затруднительно в связи с относительно большим количеством не наблюдаемых в природе теоретических предположений.

Следует также отметить, что МСВ не противоречит стандартной модели в тех областях, где результаты экспериментов и наблюдений согласуются со стандартной моделью. Поэтому хорошо отработанный математический аппарат, применяемый в стандартной модели, может использоваться и в МСВ. Отличия в предсказаниях моделей обнаруживаются только в области очень больших масс, больших пространств и промежутков времени, где стандартная модель недостаточно проверена и, поэтому, предлагается использовать новый математический аппарат МСВ.

Список литературы / References

1. Kim, E. Probable observation of a supersolid helium phase [text] / E. Kim, M. H. W. Chan // Nature. – 2004. – Vol. 427 (6971). – P. 225-227.
2. Beamish, J. Condensed-matter physics: supersolid helium [text] / J. Beamish // Nature. – 2004. – Vol. 427 (6971). – P. 204-205.
3. Гневко, А. И. О построении «теории всего» на основе аналогий в поведении физического вакуума и твердого тела [Текст]: монография / А. И. Гневко, С. Н. Соловов, В. А. Янушкевич. – М.: Буки Веди, 2017 – 126 с.
4. Дубровский, В. А. Упругая модель физического вакуума [Текст] / В. А. Дубровский // Доклады АН СССР, т. 282, 1985, №1, С. 83–88.
5. Дмитриев, В. П. Упругая модель физического вакуума [Текст] / В. П. Дмитриев // Известия РАН. Механика твердого тела, 1992, № 6, С. 66–79.
6. Гневко, А. И. Гравитационное притяжение к центру полости шарового слоя вещества [Текст] / А. И. Гневко, С. Н. Соловов, В. А. Янушкевич // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург – 2016. – №9 (51), ч. 2. С. 121–123.
7. Гневко, А. И. Способ прогнозирования движения вещества [Текст] / А. И. Гневко, М. В. Мукомела, С. Н. Соловов, В. А. Янушкевич // Международный научно-исследовательский журнал, Екатеринбург: 2017, № 1 (55) ч. 2. С. 90–92.
8. Пенроуз, Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики [Текст] / Р. Пенроуз. – М.: УРСС: Издательство ЛКИ, 2011. – 400 с.
9. Вайнберг, С. Мечты об окончательной теории. Физика в поисках самых фундаментальных законов природы [Текст] / С. Вайнберг. – М: Издательство ЛКИ, 2008. – 256 с.
10. Грин, Б. Ткань космоса. Пространство, время и текстура реальности [Текст] / Б. Грин. – М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2015. – 608 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kim, E. Probable observation of a supersolid helium phase [text] / E. Kim, M. H. W. Chan // Nature. – 2004. – Vol. 427 (6971). – P. 225-227.
2. Beamish, J. Condensed-matter physics: supersolid helium [text] / J. Beamish // Nature. – 2004. – Vol. 427 (6971). – P. 204-205.
3. Gnevko, A. I. O postroenii «teorii vsego» na osnove analogij v povedenii fizicheskogo vakuuma i tverdogo tela [About building a "theory of everything" based on the analogies in the behavior of the physical vacuum and the solid body] [text] / A. I. Gnevko, S. N. Solovov, V. A. Yanushkevich. – M.: Buki Vedi, 2017 – 126 P. [in Russian]
4. Dubrovskij, V. A. Uprugaya model' fizicheskogo vakuuma [Elastic model of physical vacuum] [text] / V. A. Dubrovskij // Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences], V. 282, 1985, №1, P. 83–88. [in Russian]
5. Dmitriev, V. P. Uprugaya model' fizicheskogo vakuuma [Elastic model of physical vacuum] [text] / V. P. Dmitriev // Izvestiya RAN. Mekhanika Tverdogo Tela [Izv. Solid mechanics], 1992, № 6, P. 66–79. [in Russian]
6. Gnevko, A. I. Gravitacionnoe pritjazhenie k centru polosti sharovogo sloja veshhestva [The gravitational attraction to the center of the hollow spherical layer of matter] [text] / A. I. Gnevko, S. N. Solovov, V. A. Janushkevich // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. Ekaterinburg – 2016. – №9 (51), part 2. P. 121–123. [in Russian]
7. Gnevko A. I., Sposob prognozirovaniya dvizheniya veshhestva [A method of predicting movement of matter] [text] / A. I. Gnevko, M. V. Mukomela, S. N. Solovov, V. A. Janushkevich // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal], Ekaterinburg: 2017, № 1 (55) part 2. P. 90–92. [in Russian]
8. Penrouz, R. Novyj um korolja: O komp'yuterah, myshlenii i zakonah fiziki. [The new king mind: On computers, minds and the laws of physics] [text] / R. Penrouz. – M.: URSS: Izdatel'stvo LKI, 2011. – 400 P. [in Russian]
9. Vajnberg, S. Mechty ob okonchatel'noj teorii: Fizika v poiskah samyh fundamental'nyh zakonov prirody. [Dreams of a final theory: Physics in search of the most fundamental laws of nature] [text] / S. Vajnberg. – M: Izdatel'stvo LKI, 2008. – 256 P. [in Russian]
10. Grin, B. Tkan' kosmosa: Prostranstvo, vremja i tekstura real'nosti. [The fabric of the cosmos: Space, time and the texture of reality] [text] / B. Grin. – M.: URSS: LENDAND, 2015. – 608 P. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.113>Зелеев М.Х.¹, Спирихин Л.В.², Байрамгулов Р.А.³, Мусина Г.И.⁴, Шайхутдинова И.А.⁵, Насибуллин Р.С.⁶¹ORCID: 0000-0002-8049-4881, кандидат физ.-мат. наук, доцент,²ORCID: 0000-0001-9636-624X, кандидат хим. наук,³ORCID: 0000-0002-0644-6113, аспирант,⁴ORCID: 0000-0003-0128-4669, аспирант, ⁵ORCID: 0000-0001-9522-5947, аспирант,⁶ORCID: 0000-0001-6653-0301, доктор физ.-мат. наук, профессор,

Башкирский Государственный Медицинский Университет

ЯДЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ОВЕРХАУЗЕРА В МОЛЕКУЛЕ АПИГЕНИНА**Аннотация**

В рамках программы исследования молекулярного механизма биологической активности молекул проведено изучение действия апигенина на структурообразующую молекулу клеточной мембраны - фосфатидилхолин. Методами квантовой химии и спектроскопии ЯМР ^1H и ^{13}C определено электронное строение апигенина. Используя ядерный эффект Оверхаузера, измерены структурные параметры молекулы апигенина в водном растворе. Полученные экспериментальные значения структурных параметров апигенина сопоставлены с результатами квантово - химических расчетов, проведенных с использованием программы HyperChem Release 8.0.8 методом DFT с базисом Medium [6-31G]. Показана высокая точность метода DFT, открывающая возможность определения электронного строения и структурных параметров молекул данной группы методом DFT без применения дорогих экспериментальных методов.

Ключевые слова: комплекс, лецитин, апигенин, ЯМР спектроскопия.

Zeleev M.KH.¹, Spirikhin L.V.², Bayramgulov R.A.³, Musina G.I.⁴, Shaykhtudinova I.A.⁵, Nasibullin R.S.⁶¹ORCID: 0000-0002-8049-4881, PhD in Physics and Mathematics, Associate professor,²ORCID: 0000-0001-9636-624X, PhD in Chemistry, ³ORCID: 0000-0002-0644-6113, postgraduate student,⁴ORCID: 0000-0003-0128-4669, postgraduate student, ⁵ORCID: 0000-0001-9522-5947, postgraduate student,⁶ORCID: 0000-0001-6653-0301, PhD in Physics and Mathematics, Professor,

BSMU

NUCLEAR OVERHAUSER EFFECT IN APIGENIN MOLECULE**Abstract**

Under the program for studying of a molecular mechanism of a biological activity of molecules, the effect of apigenin on the structure-forming molecule of the cell membrane, phosphatidylcholine, was studied. The electronic structure of apigenin is determined by the methods of quantum chemistry and spectroscopy of NMR ^1H and ^{13}C . Using the nuclear Overhauser effect, the structural parameters of the apigenin molecule in an aqueous solution are measured. The obtained experimental values of the apigenin structural parameters are compared with the results of quantum chemical calculations performed with the use of HyperChem Release 8.0.8 program using the DFT method with the Medium basis [6-31G]. The high accuracy of the DFT method is revealed, it opens the possibility of determining the electronic structure and structural parameters of molecules of this group by the DFT method without using expensive experimental methods.

Keywords: complex, lecithin, apigenin, NMR spectroscopy.

Достижения квантовой физики показали, что биологические функции молекул, составляющих биологическую систему, природой закодированы в их электронном строении. Изменения в электронном строении молекул приводят иногда через большое количество промежуточных преобразований к изменению феноменологических характеристик организма, таких как давление в кровеносной системе, температура и некоторые другие характеристики [1, С. 245-273], [2, С. 331]. Отсутствие принципиальной границы между биологическими и небιологическими системами для фундаментальных физических принципов стало ясно после создания квантовой физики. Однако для экспериментальных проверок в естественных условиях результатов теоретических исследований не было методов и техники. Открытие явления ядерного магнитного резонанса впервые открыла возможность изучения электронного строения биологических молекул в естественных условиях обитания и их изменения под действием биологических активных молекул и других физических факторов [3, С. 933], [4, С. 594-598]. Появилась возможность поэтапного определения изменения структуры и как следствие функций, приводящих к изменению феноменологических показателей организма таких как температура, давление и ряда других характеристик.

Биологическая активность молекул в биологических системах проявляется, как правило, в водных растворах. Ядерный эффект Оверхаузера (ЯЭО), основанный на прямом взаимодействии магнитных моментов ядер элементов, составляющих молекулу является единственным методом, дающим возможность определить структурные параметры молекул в растворах. ЯЭО исключает влияние на спектр молекул скалярного спин-спинового взаимодействия и некоторых других факторов. Прямое магнитное взаимодействие ядер зависит от расстояния между ядрами и дает возможность определения значения этого расстояния [5, С. 76-80], [6, С. 230].

Настоящее сообщение посвящено исследованию методами ядерного эффекта Оверхаузера и квантовой химии некоторых структурных параметров молекулы апигенина [рис 1].

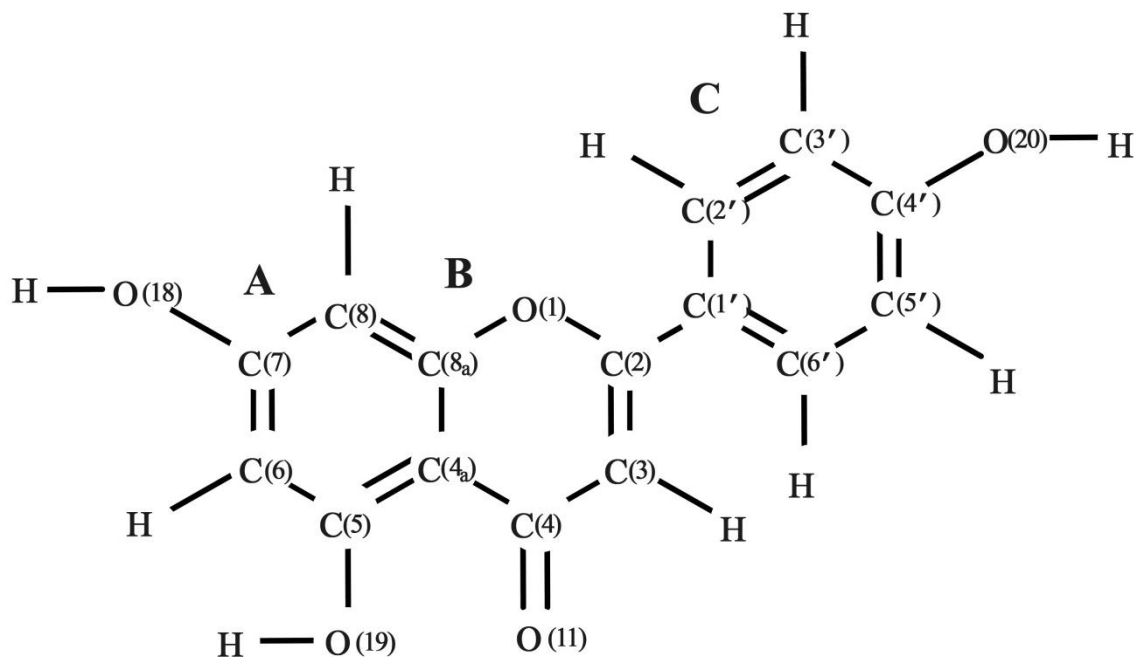


Рис. 1 – Молекула апигенина

Интерес к апигенину, принадлежащему к группе полифенольных, соединений растительного происхождения, обусловленных широким спектром его биологической активности, в частности, его антиканцерогенным действием. [7, С. 820-824], [8, С. 3], [9, С. 71-74]

Изучение молекулярного механизма активности апигенина усложняется малой растворимостью этого соединения в воде, а биологическая активность в биосистемах, как правило, проявляется в водных растворах [10, С. 91-93].

Материалы и методы

Квантово – химические расчеты проведены с использованием программы HyperChem Release 8.0.8 методом DFT с базисом Medium [6-31G]. Растворители были с индексом ЧДА. Для экспериментов был использован апигенин производства фирмы “Oldrich”, чистота которого проверялась по спектрам ЯМР. Растворы апигенина от парамагнитных примесей кислорода очищались откачкой при азотной температуре. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C зарегистрированы на импульсном спектрометре Avance III с рабочей частотой 500.13 МГц (^1H) и 125.47 МГц (^{13}C) с использованием 5 мм датчика с Z-градиентом PABBO при постоянной температуре образца 298К. Химические сдвиги в спектрах ЯМР ^{13}C , ^1H , приведены в м.д. относительно сигнала внутреннего стандарта тетраметилсилана (ТМС). Задержка между импульсными последовательностями устанавливалась для достижения полной релаксации. С целью увеличения цифрового разрешения применялось дополнение нулями и умножение Фурье-образа спектра на экспоненциальную функцию ($1b=0.1$ Гц для ^1H и 1 Гц для ^{13}C).

Спектры ЯМР ^{13}C с подавлением по протонам (WALTZ-16) были зарегистрированы при следующих условиях: спектральное окно – 29.8 кГц, количество точек-64К, длительность возбуждающего импульса (30°) – 3.2 мкс, релаксационная задержка – 2 с, количество проходов – 256. Редактирование спектров ЯМР проводилось на основании экспериментов DEPT – 90 и DEPT – 135 [1, С. 245-273]. Длительность импульса регенерирующего поперечную намагниченность выбиралась 6 мкс (DEPT-90) и 9 мкс (DEPT – 135), рефокусирующая задержка $1/2J=3.5$ мс, 64К точки накоплены в течение 64 проходов, спектральное окно – 29.8 кГц, экспоненциальное уширение линий – 1 Гц. Двумерные спектры зарегистрированы в стандартных режимах многоимпульсных последовательностей программного обеспечения прибора. Спектр gsCOSY зарегистрирован со следующими параметрами: размер матрицы 4К на 512 эксп. при спектральном окне 5.0 кГц, при обработке использовалась синусоидальная – колоколообразная взвешивающая функция для F1 и F2 проекций ($ssb = 2$). gsHSQC спектр (hsqcetgp, размер матрицы 2К на 256 эксп., 5.0 кГц для F2 – проекции и 27.7 кГц – для F1) зарегистрирован с задержкой d4 оптимизированной под наблюдение $J_{\text{CH}}=145$ Гц.

Складывающаяся в настоящее время досимптомная медицина получила возможность исследования организма до появления симптомов, характеризующих состояние системы, при появлении изменений в электронном строении молекул и создать методы коррекции таких изменений.

Двумерные спектры ^1H и ^{13}C дали возможность надежной идентификации почти сливающихся спектральных линий раствора апигенина (рис.2) со структурообразующей молекулой клеточной мембраны – фосфатидилхолином. Слабые кросс пики обусловленные взаимодействием ядер водорода метильных групп холиновой головки фосфатидилхолина, свидетельствует о формировании комплекса апигенин-лецитин.

Одновременно кросс-пики, обусловленные взаимодействием атомов водорода метильных групп холиновой головкой лецитина, показывают возникновение комплексов апигенина с сопряженными кольцами апигенина.

Экспериментальные результаты (рис.3) на спектре четко показывают хорошо измеряемое изменение спектральных линий от ядер водорода из разных сопряженных колец апигенина обусловленные ЯЭО (рис.3). Под спектральными линиями расположены цифры, показывающие изменение интенсивности этих линий.

Таблица 1 – Значения расстояний между атомами апигенина в A^0

| Расстояние | $H_5 - H_6'$ | $H_5 - H_5'$ | $H_8 - H_3'$ | $H_8 - H_2'$ |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Экспериментальное значение | 2,43603 | 5,32598 | 6,75227 | 4,02698 |
| DFT large [316**] | 2,43598 | 5,32599 | 6,75229 | 4,02597 |

Эти данные практически совпадают с результатами квантово-химических расчетов, проведенных методом DFT. Отсутствие допускающего точное измерение ЯЭО, при разумных временах накопления сигнала, влияния, насыщения линии метильных групп холиновой группы на спектры апигенина можно объяснить зависимостью, описывающей эту связь в шестой степени расстояния, разделяющего взаимодействующие магнитные моменты [11, С. 142-145]:

$$\frac{1}{\eta_i(x)} \propto r^6 \quad (1),$$

где η - ЯЭО,

r - расстояние между ядрами.

Структурные параметры, помещенные в таблицу, являются результатами определенными из экспериментов по ЯЭО в соответствии с выражением (1), предложенным в работе [11, С. 142-145]. Расчеты проводились предположении, что длина связи C-H при sp^3 гибридизации углерода равна $1,1 \text{ \AA}^0$. Там же приведены соответствующие структурные данные, полученные методом DFT large. Сопоставление структурных параметров показывает, что вращательные движения кольца С заторможено. Как видно из данных таблицы, экспериментальные и полученные значения из квантово-химических расчетов совпадают до пятого знака после запятой. Хорошее совпадение вычисленных и экспериментальных структурных параметров молекулы апигенина дает возможность использовать расчетные методы для исследования других молекул этой многочисленной группы без трудоемких экспериментов.

Список литературы / References

1. Kahl. R. Protective and adverse biological actions of phenolic antioxidants. / R. Kahl., H. Sies. // Oxidative Stress: Oxidants and antioxidants. – London. – 1991. – P. 245-273.
2. Van Acker S. A. Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids / van Acker SA1, van den Berg DJ, Tromp MN, Griffioen DH, van Bennekom WP, van der Vijgh WJ, Bast A. // Free Radic Biol Med. – 1996. – Vol. 20(3). – P. 331. PMID: 8720903
3. Rice-Evans C.A. Structure – antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. / C.A.Rice-Evans, N.J. Miller and G.Paganga. // Free Radic Biol Med. – 1996. – Vol. 20(3). – P. 933. PMID: 8743980
4. Насибуллин Р.С. Образование комплексов молекулы пиразола с фосфолипидами. / Р.С. Насибуллин, Л.В. Спирихин, В.А. Пономарева. // Биофизика. – 1991. – Том 36. – №.4. – С. 594-598.
5. Насибуллин Р. С. Структура комплексов фосфатидилхолин– пиридин и фосфатидилхолин–пиразол: результаты конформационного анализа. / Р. С. Насибуллин, М.А. Серебряник. // Biopolymers and cell. 2002. – Vol.18. – No.1. – P. 76-80. <http://dx.doi.org/10.7124/bc.0005EB>
6. Allen M.P. Computer simulation of liquids. / M.P. Allen, D.J. Tidesley. // Oxford: Clarendon Press. – 1987. – P. 230.
7. Nasibullin R.S. Pyridine – phosphatidylcholine complex. / R.S. Nasibullin, D.I. Kosarova, L.V. Spirichin. // Biophysics. – 2002. – Vol.47. – No.5. – P. 820–824. <https://elibrary.ru/item.asp?id=14967353>
8. Насибуллин Р.С. Комплексообразование 7,3¹,4¹-триоксифлавонола с клеточным фосфатидилхолином. / Р.С. Насибуллин, Е.Р. Фахретдинова, В.М. Нусратуллин, Р.И. Галеева. // Biopolymers and Cell. – 2010. – Vol.26. – №5. <http://dx.doi.org/10.7124/bc.00016D>
9. Насибуллин Р.С. О молекулярном механизме биологической активности апигенина. / Р.С. Насибуллин, Л.В. Спирихин, Р.И. Галеева, Д.И. Фахретдинова. // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т.43. – №8. – С. 71–74. DOI: jbc-01/15-43-8-71
10. Насибуллин Р.С. Комплекс фосфатидилхолина 7,3¹,4¹-триоксифлавоном (физетин). / Р.С. Насибуллин, М.С. Сетченков, Р.И. Галеева, И.Р. Хайбуллина. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016г. – №1(43). – С. 91–93. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.43.032>
11. Noggle J.H. The Nuclear Overhauser Effect – Chemical Application / J.H. Noggle, R.E. Schirmer. // Academic Press. – 1972.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kahl. R. Protective and adverse biological effects of phenolic antioxidants, in Oxidative Stress: Oxidants and antioxidants. / R. Kahl., H. Sies. - London. - 1991. - P. 245-273.
2. Van Acker S. A. Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids / van Acker SA1, van den Berg DJ, Tromp MN, Griffioen DH, van Bennekom WP, van der Vijgh WJ, Bast A. // Free Radic Biol Med. - 1996. - Vol. 20 (3). - P. 331. PMID: 8720903
3. Rice-Evans C.A. Structure - antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. / C.A. Rice-Evans, N.J. Miller and G.Paganga. // Free Radic Biol Med. - 1996. - Vol. 20 (3). - P. 933. PMID: 8743980
4. Nasibullin R.S. Obrazovaniye kompleksov molekuly pirazola s fosfolipidami [Formation of Complexes of Pyrazole Molecule with Phospholipids] / R.S. Nasibullin, L.V. Spirichin, V.A. Ponomareva. // Biophysics. - 1991. - Vol. 36. - No. 4. - P. 594-598. [In Russian]
5. Nasibullin R.S. Struktura kompleksov fosfatidilkholin– piridin i fosfatidilkholin–pirazol: rezul'taty konformatsionnogo analiza [Structure of Phosphatidylcholine-pyridine and Phosphatidylcholine-pyrazole Complexes: Results of Conformational Analysis. / R.S. Nasibullin, M.A. Serebrenik. // Biopolymers and cell. 2002. - Vol.18. - No.1. P. 76-80. <http://dx.doi.org/10.7124/bc.0005EB> [In Russian]
6. Allen M.P. Computer simulation of liquids. / M.P. Allen, D.J. Tidesley. // Oxford: Clarendon Press. - 1987. - P. 230.

7. Nasibullin R.S. Pyridine - phosphatidylcholine complex. / R.S. Nasibullin, D.I. Kosarrev, L.V. Spirichin. // Biophysics. - 2002. - Vol.47. - No.5. P. 820-824. <https://library.ru/item.asp?id=14967353>
8. Nasibullin R.S. Kompleksoobrazovaniye 7,3I,4I-trioksiflavonola s kletochnym fosfatidilkholinom. [Complex formation of 7,3^I,4^I-trioxyflavonol with Cellular Phosphatidoline] / R.S. Nasibullin, E.R. Fakhretdinova, V.M. Nusratullin, R.I. Galeev. // Biopolymers and Cell. - 2010. - Vol.26. - No.5. <http://dx.doi.org/10.7124/bc.00016D> [In Russian]
9. Nasibullin R.S. O molekulyarnom mekhanizme biologicheskoy aktivnosti apigenina [On the molecular mechanism of the biological activity of apigenin] / R.S. Nasibullin, L.V. Spirikhin, R.I. Galeeva, D.I. Fahretdinov. // Butler messages. - 2015. - V.43. - No.8. - P. 71-74. ROi: jbc-01 / 15-43-8-71 [In Russian]
10. Nasibullin R.S. Kompleks fosfatidilkholona 7,3^I,4^I-trioksiflavonom (fizerin) [Complex of Phosphatidylcholine 7,3^I, 4^I-trioxyflavonol (fizerin)] / R.S. Nasibullin, M.S. Setchenkov, R.I. Galeeva, I.R. Khaibullina. // International Scientific and Research Journal. - 2016g. - No.1 (43). - P. 91-93. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.43.032> [In Russian]
11. Noggle J.H. The Nuclear Overhauser Effect – Chemical Application / J.H. Noggle, R.E. Schirmer. // Academic Press. – 1972.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.114>

Кузнецов А.Г.

Кандидат технических наук,

Пермский государственный национальный исследовательский университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО КАНАЛАМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аннотация

Описана одна из задач представления графической информации в интеллектуальных телекоммуникационных системах, в первую очередь – изображений. Предложена схема восходящего анализа, в которой последовательность групп преобразований упорядочивается отношением «группа – надгруппа». Кратко описаны достоинства этой схемы. Приведено описание преобразований графических изображений при передаче по каналам телекоммуникационных связей. Описана математическая формализация этих преобразований, включающая в себя тождественные преобразования, трансляции, центроафинные ротации, центроафинно-аксиальные бикомпресии, движения и нерефлексные аффинные преобразования. Сформулированы свойства структурных элементов для различных основных групп преобразований. Отмечено, что математически формализованный анализ преобразований дает возможность осуществлять структурное описание графических изображений с их геометрико-топологическими свойствами, характеристиками и взаимосвязями, что важно, например, при организации передачи графических изображений по каналам телекоммуникационных систем и при сжатии изображений в процессе этой передачи.

Ключевые слова: телекоммуникации, изображения, графическая информация, преобразования графических изображений, математическая формализация, группы преобразований.

Kuznetsov A.G.

PhD in Engineering

Perm State National Research University

MATHEMATICAL FORMALIZATION OF TRANSFORMATIONS IN TRANSMISSION VIA CHANNELS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS OF GRAPHIC IMAGES

Abstract

The paper considers one of the problems of representation of graphical information in intelligent telecommunication systems, images first of all. An outline analysis scheme is proposed, in which the sequence of transformation groups is ordered by the group-over-group relationship. The advantages of this scheme are briefly described. The description of transformations of graphic images is given at transmission via telecommunication channels. A mathematical formalization of these transformations is described, including identical transformations, translations, centrifugal rotations, central-affine-axial bicompressions, motions, and non-reflex affine transformations. The properties of structural elements for various basic transformation groups are formulated. It is noted that mathematically formalized analysis of transformations makes it possible to carry out a structural description of graphic images with their geometric-topological properties, characteristics and interrelations, which is important, for example, when organizing the transmission of graphic images through the channels of telecommunication systems and when compressing images during this transmission.

Keywords: telecommunications, images, graphic information, graphic image transformation, mathematical formalization, transformation groups.

Проблема передачи больших объемов информации по каналам связи телекоммуникационных систем продолжает сохранять свою актуальность. Это, во многом, обусловлено, как увеличением количества абонентов телекоммуникационных систем, так и широким, постоянно возрастающим использованием современных информационных технологий абонентами. Поэтому важны разработки, связанные с созданием способов и методов моделирования, представления и кодирования структуры графических изображений. Особенно актуальны методы представления и преобразования графических изображений, основанные на новых эффективных моделях их описания и порождающие алгоритмы, программы и технологии обработки таких изображений. Важно также решение задач практической реализации алгоритмов при передаче графической информации по каналам связи телекоммуникационных систем и использовании эффективных алгоритмов в системах обработки графической информации.

Решение проблемы передачи больших объемов информации по каналам связи в значительной мере осложняется тем, что передаваемая информация имеет сложную структуру и разнообразные формы организации [1, С. 5]. Одной из наиболее актуальных на сегодняшний день представлений сложной информации в интеллектуальных телекоммуникационных системах является задача представления графической информации, в первую очередь – изображений, ввиду их разнообразия, сложности структуры и большой информационной емкости. В настоящее время создан метод формирования описаний пространственной структуры (ПС) графических изображений (ГИ), основанный на анализе преобразований графических изображений, описываемых их группами [2, С. 64]. При создании этого метода используется свойство трансформационной устойчивости ПС – инвариантность структурных элементов (СЭ), их характеристик и взаимосвязей при воздействии на структуры различных видов преобразований пространственного характера, индуцируемых группами преобразований пространства [3, С. 175]. Поэтому суть метода анализа преобразований заключается в определении инвариантов структуры относительно различных групп преобразований. При этом рассматривается последовательность групп преобразований, упорядоченная отношением «группа – подгруппа» [4, С. 198].

Но интересен иной подход – схема восходящего анализа, в которой последовательность групп преобразований упорядочивается отношением «группа – надгруппа» [5, С. 41]. В этой схеме происходит обратный процесс сборки СЭ из отдельных точек ГИ, и ПС воссоздается путем установления взаимосвязей элементов. Формируемая модель ПС в этом случае имеет более простой и менее избыточный вид по сравнению с моделью, получаемой при нисходящей схеме анализа [6, С. 80]. В то же время остается возможной ее достройка до уровня избыточности модели нисходящей схемы [7, С. 82], имеющей важное значение для решения задач интерпретации ПС ГИ. Для решения этой задачи важно формализованное описание преобразований. Эта формализация, например, может существенно упростить запись алгоритмов, например, приведенных в работе [8, С. 635]. Математическая формализация всех возможных преобразований приведена ниже.

Если задана группа преобразований пространства (в данном случае, пространства размерности 2 – плоскости) G , то тем самым для точек изображения определено отношение G -эквивалентности: две точки изображения G -эквивалентны, если существуют $g_1 \in G$ и $g_2 \in G$, взаимно преобразующие их вместе с окрестностями:

$$\begin{aligned} g_1(Sg(x_1, y_1) \cap B(x_1, y_1)) &= Sg(x_2, y_2) \cap B(x_2, y_2), \\ g_2(Sg(x_2, y_2) \cap B(x_2, y_2)) &= Sg(x_1, y_1) \cap B(x_1, y_1), \end{aligned}$$

здесь $Sg(x, y) \cap B(x, y)$ обозначает сужение функции (сигнатурно-кодовой карты) $Sg(x, y)$ на окрестность $B(x, y)$ точки (x, y) [3, С. 65].

Очевидно, что необходимым (но не достаточным) условием G -эквивалентных точек (x_1, y_1) и (x_2, y_2) является равенство их кодовых сигнатур:

$$Sg(x_1, y_1) = Sg(x_2, y_2).$$

Для проведения анализа преобразований введем в рассмотрение последовательность основных преобразований, сформированных из образующих групп (см. табл. 1).

Таблица 1 – Трансформации графических изображений

| а) образующие подгруппы преобразований | |
|---|--|
| Тождественные преобразования G_{Id} | $Id(x, y) = (x, y)$ |
| Трансляции G_{Tr} | $Tr[a, b](x, y) = (x + a, y + b)$ |
| Центроаффинные ротации G_{Rt} | $Rt[\alpha](x, y) = (x \cos \alpha - y \sin \alpha, x \sin \alpha + y \cos \alpha)$ |
| Центроаффинно-аксиальные бикомпрессии G_{Bc} | $Bc[k_1, k_2](x, y) = (k_1 x + k_2 y), k_1 > 0, k_2 > 0$ |
| б) основные группы преобразований | |
| Трансляции G_{Tr} | $Tr[a, b](x, y)$ |
| Движения $G_{Mv} = G_{Tr} \otimes G_{Rt}$ | $Mv[\alpha, a, b] = Tr[a, b] \circ Rt[\alpha](x, y)$ |
| Нерефлексные аффинные преобразования $G_{Af} = G_{Tr} \otimes G_{Bc} \otimes G_{Rt}$ | $Af[\alpha, \beta, k_1, k_2, a, b] = Tr[a, b] \circ Rt[\beta] \circ Bc[k_1, k_2] \circ Rt[\alpha](x, y), k_1 > 0, k_2 > 0$ |

Используются три образующих группы преобразований:

- группа трансляций G_{Tr} – сдвигов, параллельных осям координат;
- группа центроаффинных ротаций G_{Rt} – поворотов вокруг начала координат;

– группа центроафинно-аксиальных биокompрессий G_{Bc} – сжатий-растяжений относительно начала координат в направлениях осей координат.

Три основных группы преобразований являются прямыми произведениями перечисленных выше трех подгрупп и образуются суперпозициями соответствующих преобразований:

– группа трансляций G_{Tr} – совпадает с первой образующей группой;

– группа движений G_{Mv} (нецентрированных ротаций) – суперпозиций поворотов и сдвигов; является прямым произведением групп ротаций и трансляций $G_{Tr} \otimes G_{Rt}$;

– группа нерелефлексных аффинных преобразований G_{Af} – суперпозиций поворотов, биокompрессий и сдвигов; является прямым произведением групп ротаций, биокompрессий и трансляций $G_{Tr} \otimes G_{Bc} \otimes G_{Rt}$.

Очевидно, что группа трансляций является подгруппой группы движений, а группа движений – подгруппой нерелефлексных аффинных преобразований:

$$G_{Tr} \subset G_{Mv} \subset G_{Af}.$$

Все основные группы являются подгруппами группы аффинных преобразований и, следовательно, наследуют все ее инварианты, а группа аффинных преобразований является подгруппой группы всех непрерывных преобразований и наследует ее инварианты. Поэтому для всех основных групп преобразований инвариантной будет такая характеристика многообразий, как их размерность, такое ее свойство, как связность, и такое отношение, как смежность.

На рис.1 – 7 приведены иллюстрация видов возможных трансформаций, математическая формализация которых описана в настоящей статье.

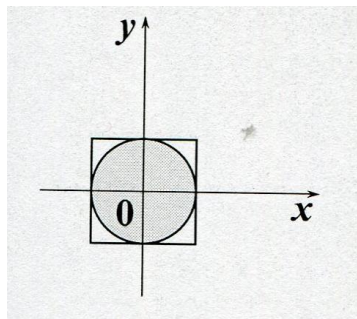


Рис. 1 – Тожественные преобразования Id

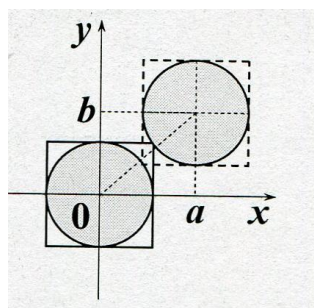


Рис. 2 – Трансляции $Tr[a,b]$

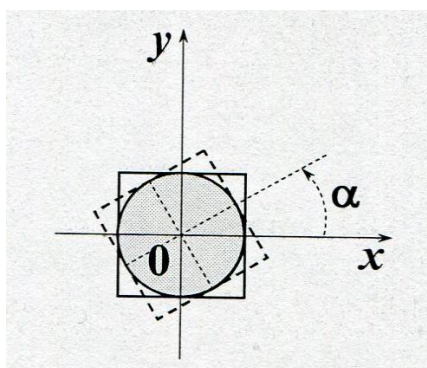
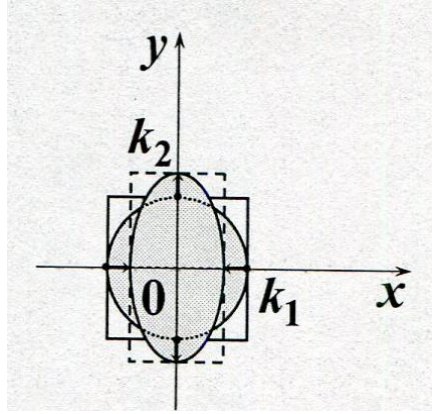
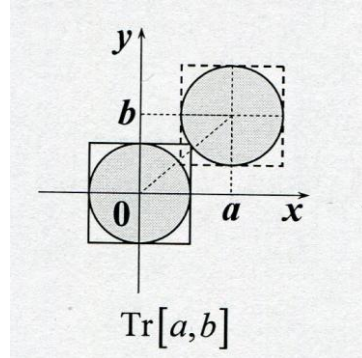
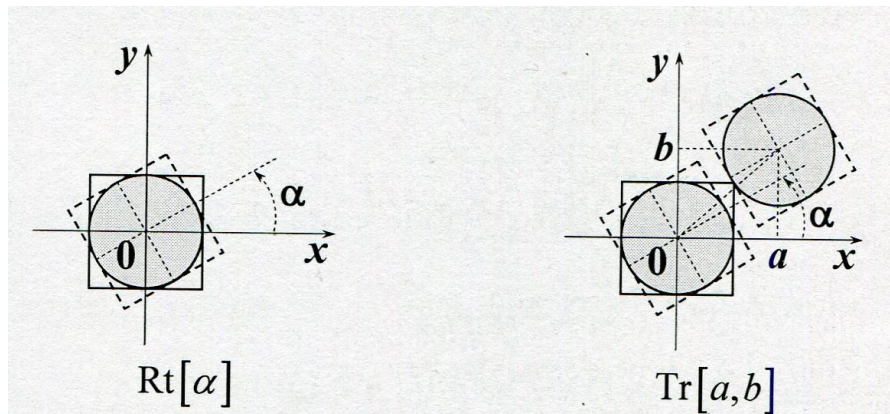
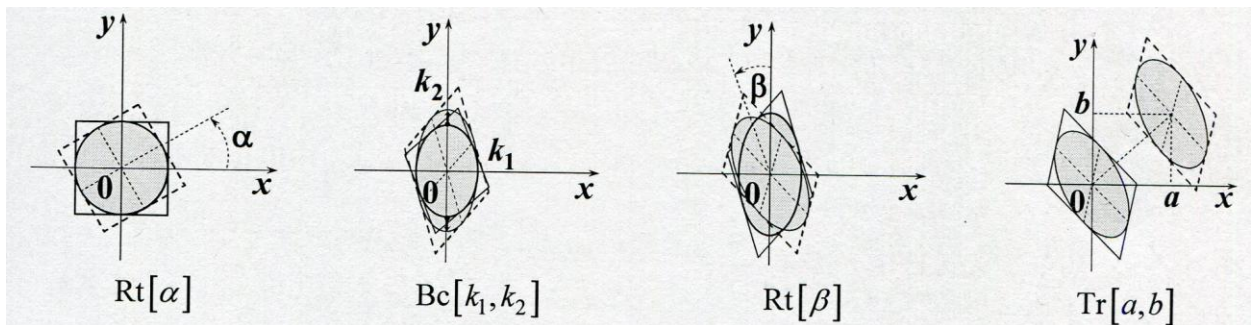


Рис. 3 – Центроаффинные ротации $Rt[a]$

Рис. 4 – Центроаффинно-аксиальные бикомпрессии $Bc[k_1, k_2]$ Рис. 5 – Трансляции $Tr[a, b]$ Рис. 6 – Движения $Mv[\alpha, a, b] = Tr[a, b] \circ Rt[\alpha]$ Рис. 7 – Нерекфлексные аффинные преобразования $Af[\alpha, \beta, k_1, k_2, a, b] = Tr[a, b] \circ Rt[\beta] \circ Bc[k_1, k_2] \circ Rt[\alpha]$

При анализе ПС ГИ можно использовать следующие свойства СЭ относительно G -эквивалентности для различных основных групп преобразований.

Свойство 1. Все внутренние точки планарного СЭ G_{Tr} -эквивалентны, а также G_{Mv} -эквивалентны и G_{Af} -эквивалентны.

Свойство 2. Все внутренние точки прямолинейного линейного СЭ G_{Tr} -эквивалентны, а также G_{Mv} -эквивалентны и G_{Af} -эквивалентны.

Свойство 3. Все внутренние точки дугообразного линейного СЭ G_{M_v} -эквивалентны и G_{A_f} - эквивалентны.

Свойство 4. Все внутренние точки линейного СЭ G_{M_v} -эквивалентны и G_{A_f} - эквивалентны.

Отметим, что свойства 1–3 представляются достаточно очевидными, т.к. G -эквивалентность точек устанавливается путем сдвига одной из точек вместе с ее окрестностью до совмещения ее с другой точкой (свойства 1–2), либо путем сдвига одной из точек вместе с ее окрестностью до совмещения ее с другой точкой и поворота ее окрестности до совмещения касательных к дугам в окрестностях обеих точек (свойство 3).

Таким образом, предложенный в статье математически формализованный анализ преобразований дает возможность осуществлять структурное описание ПС ГИ с их геометрико-топологическими свойствами, характеристиками и взаимосвязями, что важно, например, при организации передачи графических изображений по каналам телекоммуникационных систем [9, С. 172] и при сжатии изображений [10, С. 7].

Список литературы / References

1. Кузнецов А.Г. Структурные представления и методы кодирования графических изображений в интеллектуальных телекоммуникационных системах: дисс. ... канд. тех. наук : 05.12.13 : защищена 17.12.2008г. : утв. 19.06.2009г. / Кузнецов Андрей Геннадьевич. – Ижевск. ИжГТУ., 2008. – 164с.
2. Кузнецов А.Г. Использование преобразований для сжатия графической информации / А.Г. Кузнецов, А.Я. Уфимкин // Вестник Московской Академии рынка труда и информационных технологий. – 2004. - №4(12). – С.62 – 73.
3. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа/ А.Н.Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука. – 1981. – 544 с.
4. Мурынов А.И. Структурно-цветовой анализ графических изображений на основе динамической экстенстной модели кластера/ А.И. Мурынов, М.В.Телегина //Известия Института математики и информатики Удмуртского государственного университета. – 2006. – № 2. – С. 197-200.
5. Чернышев К.С. Анализ цифровых представлений и моделей трехмерных пространственных объектов/ К.С. Чернышев, А.И. Мурынов, А.Д. Борин//Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7 (35). – С. 39 – 42.
6. Пасичник С., Бахич В., Журавлев А. Передача данных: от каналов к пакетам/ Пасичник С., Бахич В., Журавлев А. // Сети и телекоммуникации. – 2006. - № 1-2. – С. 45 – 52.
7. Пивоваров И.В. Алгоритм структурно-цветового анализа графических изображений/ И.В. Пивоваров// Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2005. – Сб. научн. тр. VII Молодежной НТК – Москва: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана. – 2005. – С.79 – 83.
8. Kwok P. Customising thinning algorithms/ P.Kwok // 3rd Int. Conf. Image Proc. and Appl., Warwick, 18 – 20 July. – 1989. – London. – 1989. – Pp.633 – 637.
9. Лурье И., Косиков А. Теория и практика цифровой обработки изображений / И.Лурье, А.Косиков. - М.: Научный Мир. – 2003. – 176с.
10. Миано Д. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии /Д. Миано. – М.: Триумф. – 2003. – 336 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kuznetsov A.G. Strukturnye predstavleniya i metody kodirovaniya graficheskikh izobrazhenij v intellektual'nyh telekommunikacionnyh sistemah [Structural representations and methods of encoding graphic images in intelligent telecommunication systems] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.12.13 : defense of the thesis 17.12.08 : approved 19.06.09/ Kuznetsov Andrej Gennad'evich. – Izhevsk. Vuz., 2008. – 164 p. [in Russian]
2. Kuznetsov A.G. Ispol'zovanie preobrazovanij dlja szhatija graficheskoy informacii [Using transformations to compress graphic information] / A.G. Kuznetsov, A.Ja. Ufimkin// Vestnik Moskovskoj Akademii rynka truda i informacionnyh tehnologij [Bulletin of the Moscow Academy of Labor and Information Technology]. – 2004. - №4(12). – Pp.62 – 73. [in Russian]
3. Kolmogorov A.N. Jelementy teorii funkcij i funkcional'nogo analiza [Elements of the theory of functions and functional analysis]. – M.: Nauka. – 1981. – 544 p. [in Russian]
4. Murynov A.I., Teginina M.V. Strukturno-cvetovoj analiz graficheskikh izobrazhenij na osnove dinamicheskoy jekstentnoj modeli klastera [Structural-color analysis of graphic images based on the dynamic extent of the cluster model]// Izvestija Instituta matematiki i informatiki Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta[Proceedings of the Institute of Mathematics and Informatics of the Udmurt State University]. – 2006. – № 2. – Pp. 197-200. [in Russian]
5. Chernyshev K.S., Murynov A.I., Borin A.D. Analiz cifrovyyh predstavlenij i modelej trehmernyh prostranstvennyh ob'ektov [Analysis of digital representations and models of three-dimensional objects] //Privolzhskij nauchnyj vestnik [Privolzhsky Scientific Bulletin]. – 2014. – № 7 (35). – Pp. 39 – 42. [in Russian]
6. Pasichnik S., Bakhich V., Zhuravlev A. Peredacha dannykh: ot kanalov k paketam [Data transfer: from channels to packets] // Seti i telekommunikatsii [Networks and telecommunications]. – 2006. - № 1-2. – Pp. 45 – 52. [in Russian]
7. Pivovarov I.V. Algoritm strukturno-tsvetovogo analiza graficheskikh izobrazhenij [Algorithm of structural-color analysis of graphic images] // Naukoemkie tehnologii i intellektualnyie sistemy 2005[Technologies and Intelligent Systems 2005]. – Sb. nauchn. tr. VII Molodezhnoy NTK – Moskva: Izd-vo MGTU im N.E. Bauman. – 2005. – Pp.79 – 83. [in Russian]
8. Kwok P. Customizing thinning algorithms/ P. Kwok // 3rd Int. Conf. Image Proc. and Appl., Warwick, 18 - 20 July. - 1989. - London. 1989. Pp.633-637.
9. Lure I., Kosikov A. Teoriya i praktika tsifrovoy obrabotki izobrazheniy [Theory and practice of digital image processing]. - M.: Nauchnyy Mir. – 2003. – 176 p. [in Russian]
10. Miano D. Formaty i algoritmy szhatiya izobrazheniy v deystvii [Formats and algorithms for image compression in action]. – M.: Triumf. – 2003. – 336 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.112>Маслов С.А.¹, Смирнов В.А.², Харчевский А.А.³¹ORCID: 0000-0001-8440-2821, младший научный сотрудник,

Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва

²ORCID: 0000-0002-3853-3369, аспирант,³ORCID: 0000-0002-4404-4203, аспирант,^{3,4}Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва

Исследование проводилось при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-31-00456 мол_а)

РОЛЬ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ГЕНЕРАЦИИ ЗАВИХРЕННОСТИ ТАЙФУНОВ И ТОРНАДО**Аннотация**

На основе двумасштабной гидродинамической модели, учитывающей влияние турбулентных пульсаций на средний поток, построен механизм генерации завихренности тайфунов и торнадо за счет атмосферной турбулентности. Проведен вейвлет-анализ флуктуаций давления в реальных атмосферных вихрях – торнадо и ураганах Айрин и Андреа. Найдены характерные частоты флуктуаций атмосферного давления, а также получены оценки влияния турбулентных пульсаций на усиление завихренности в тайфунах и торнадо. Вклад турбулентного механизма может быть сравним с влиянием растяжения вихревых линий.

Ключевые слова: вейвлет-анализ, турбулентность, тайфун, торнадо.

Maslov S.A.¹, Smirnov V.A.², Kharchevsky A.A.³¹ORCID: 0000-0001-8440-2821, Junior researcher,

Joint Institute for High Temperatures (JIHT), RAS, Moscow

²ORCID: 0000-0002-3853-3369, Postgraduate student,³ORCID: 0000-0002-4404-4203, Postgraduate student,

2,3Moscow Technological University (MIREA), Moscow

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 16-31-00456 Mol_a)

ROLE OF AIR TURBULENCE IN GENERATION OF VORTICITY OF TYPHOONS AND TORNADO**Abstract**

Based on a two-scale hydrodynamic model considering the influence of turbulent pulsations on the average flow, a mechanism is developed for generating vorticity of typhoons and tornadoes due to atmospheric turbulence. A wavelet-analysis of pressure fluctuations in real atmospheric vortexes, tornadoes and hurricanes, Irene and Andrea is conducted in the paper. The characteristic frequencies of atmospheric pressure fluctuations are found, also the estimates of the influence of turbulent pulsations on the enhancement of vorticity in typhoons and tornadoes are obtained. The contribution of the turbulent mechanism can be compared with the effect of the stretching of the vortex lines.

Keywords: wavelet-analysis, turbulence, typhoon, tornado.

Торнадо (смерч) и тайфун (тропический ураган) – наиболее интенсивные атмосферные вихри. Радиус тайфуна составляет 500 – 1000 км, максимальная азимутальная скорость – до 90 м/с. Скорость вращения торнадо, несмотря на меньшие, чем у тайфуна, поперечные размеры (10 – 1500 м), может превышать 150 м/с [1, С. 186]. Вследствие больших скоростей потока в атмосферных вихрях имеют место сильные перепады атмосферного давления: в ядре тайфуна и торнадо давление иногда на 15 – 20% ниже, чем на периферии.

Большие градиенты скорости и давления в атмосферных вихрях обуславливают трудности их численного моделирования. Кроме того, на генерацию завихренности оказывают влияние различные факторы – как термогидродинамические [2, С. 125], [3, С. 466], так и электромагнитные [4, С. 34], [5, С. 56]. В атмосферных вихрях также имеет место интенсивная турбулентность потока. Для оценки частоты турбулентных пульсаций давления и скорости необходимо проводить натурные наблюдения и применять методы обработки экспериментальных данных – Фурье- или вейвлет-анализ [6, С. 33]. Первая методика, основанная на использовании преобразования Фурье, отражает частотные закономерности процессов, а вейвлет-анализ позволяет выявить как частотные, так и пространственно-временные закономерности, поэтому больше подходит для исследования нестационарных процессов таких, как интенсивные атмосферные вихри.

В настоящей статье предлагается турбулентный механизм генерации завихренности в тайфунах и торнадо. Оценки, полученные с помощью вейвлет-анализа данных натурных наблюдений, показывают, что турбулентные пульсации давления и скорости могут оказывать существенное влияние на интенсификацию завихренности.

Рассмотрим турбулентное движение воздуха в интенсивных атмосферных вихрях. Среду полагаем несжимаемой, так как характерная скорость потока в тайфунах и торнадо обычно меньше скорости звука. Следуя [7, С. 191], будем описывать турбулентное движение несжимаемой среды системой уравнений неразрывности и Навье – Стокса:

$$\operatorname{div} \vec{u} = 0, \quad \rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \nabla) \vec{u} \right) = -\nabla p + \mu \Delta \vec{u}, \quad (1)$$

$$\vec{u} = \vec{U} + \vec{u}', \quad p = P + p', \quad \vec{U} = \langle \vec{u} \rangle, \quad P = \langle p \rangle, \quad |\vec{u}'| \ll |\vec{U}|, \quad |p'| \ll |P|$$

Здесь \vec{u}' , p' – турбулентные пульсации скорости и давления, для которых справедливо

$$\langle \vec{u}' \rangle \equiv 0, \quad \langle p' \rangle \equiv 0, \quad (2)$$

а треугольные скобки $\langle \rangle$ в формулах (1) – (2) обозначают операцию осреднения, которую для произвольной физической характеристики f в момент времени t_0 определим как

$$\langle f(t_0) \rangle = \frac{1}{2T} \int_{t_0-T}^{t_0+T} f(t) dt, \quad (3)$$

где T – промежуток времени, малый по сравнению со временем жизни атмосферного вихря (тайфуна или торнадо) и большой в сравнении с периодом турбулентных пульсаций. Предполагается, что характерный размер пульсаций r' существенно меньше пространственного масштаба R среднего потока.

Из уравнения Навье – Стокса путем взятия ротора от обеих частей второго уравнения (1) получаем уравнение завихренности [8, С. 41]:

$$\frac{\partial \vec{\omega}}{\partial t} = \text{rot}(\vec{u} \times \vec{\omega}) + \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{\omega}, \quad (4)$$

где $\vec{\omega} = \text{rot} \vec{u}$ – завихренность потока, для которой также справедливо разложение на среднюю $\vec{\Omega}$ и пульсационную $\vec{\omega}'$ составляющие:

$$\vec{\omega} = \vec{\Omega} + \vec{\omega}', \quad \vec{\Omega} = \langle \vec{\omega} \rangle, \quad \langle \vec{\omega}' \rangle \equiv 0.$$

Поставляя последнее разложение в уравнение (4) и применяя операцию осреднения, определяемую формулой (3), получаем выражение для средней завихренности:

$$\frac{\partial \vec{\Omega}}{\partial t} = \text{rot}(\vec{U} \times \vec{\Omega}) + \langle \text{rot}(\vec{u}' \times \vec{\omega}') \rangle + \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{\Omega}, \quad (5)$$

где первый член правой части отражает влияние растяжения вихревых линий, второй – воздействие атмосферной турбулентности. Для оценки вклада турбулентных пульсаций оценим отношение величин первых двух слагаемых правой части (5):

$$N = \frac{|\langle \text{rot}(\vec{u}' \times \vec{\omega}') \rangle|}{|\text{rot}(\vec{U} \times \vec{\Omega})|} \quad (6)$$

Обозначим характерные скорость и завихренность среднего потока как U , Ω , пульсации величин – соответственно u' и ω' . Числитель и знаменатель (6) имеют порядки $u'\omega'/r'$ и $U\Omega/R$ соответственно, $\omega' \sim u'/r'$, $\Omega \sim U/R$. Кроме того, характерную пульсационную завихренность можно оценить как $\omega' \sim 2\pi\nu'$, где частота флуктуаций ν' находится посредством вейвлет-анализа данных натурных наблюдений. Из (5) – (6) следует, что относительный вклад турбулентности в генерацию завихренности тайфунов и торнадо приближенно определяется величиной

$$N \sim \frac{4\pi^2 R^2 \nu'^2}{U^2}. \quad (7)$$

Для оценки частоты пульсаций проведено сравнение частотно-временной эволюции атмосферного давления на земной поверхности в следующих типичных случаях атмосферных вихрей: торнадо [9] (Пратт, Канзас, США, 07.05.2002), тайфунов Айрин [10] (15 – 29.08.2011, США) и Андреа [11] (06.2013, США). Давление вблизи торнадо измерялось с использованием закрепленного на земной поверхности зонда HITPR [9], оцифровка экспериментальных данных в области прохождения торнадо производилась с частотой 10 Гц. Измерение давления в ураганах проводилось в штате Северная Каролина (США) 26 – 28.08.2011 с применением наземных экспериментальных установок NOAA [10], [11]. Обработка экспериментальных данных проводилась на языке MATLAB с использованием вейвлета Хаара, успешность применения которого для плазменных и атмосферных процессов отмечалась в [12].

На рис. 1 – 2 приведены результаты измерения атмосферного давления и вейвлет-анализа его флуктуаций для торнадо и тайфунов. Вейвлет-анализ показывает сильный рост флуктуаций давления в периоды его существенного отклонения от нормального (т.е. вблизи ядра торнадо или глаза тайфуна): на 210 – 345 секундах с момента начала эксперимента в торнадо (рис. 1а), в районе 08:00 – 16:00 27.08.2011 г. (по местному времени) в тайфуне Айрин и в 10:00 – 20:00 06.06.2013 г. в урагане Андреа. Абсолютное изменение давления в атмосферных вихрях составляло 15 – 50 гПа (рис. 1 – 2). Характерная частота колебаний давления, а следовательно, и турбулентных пульсаций завихренности, для торнадо в Канзасе имела порядок $\nu'_1 \sim 1 \cdot 10^{-2}$ Гц (рис. 1в), максимальная азимутальная скорость потока $U_1 = 31$ м/с, давление резко изменялось в интервале времени 210 – 345 с [9]. В дальнейшем индекс «1» будем использовать для обозначения характеристик торнадо, индексы «2» и «3» – для тайфунов Айрин и Андреа. Если считать, что скорость поступательного перемещения воронки около 10 м/с, то радиус торнадо имеет порядок 500 м. Радиус ядра полагаем равным $R_1 = 250$ м. Из соотношения (7) получаем, что для торнадо в Канзасе $N_1 \sim 0,25$.

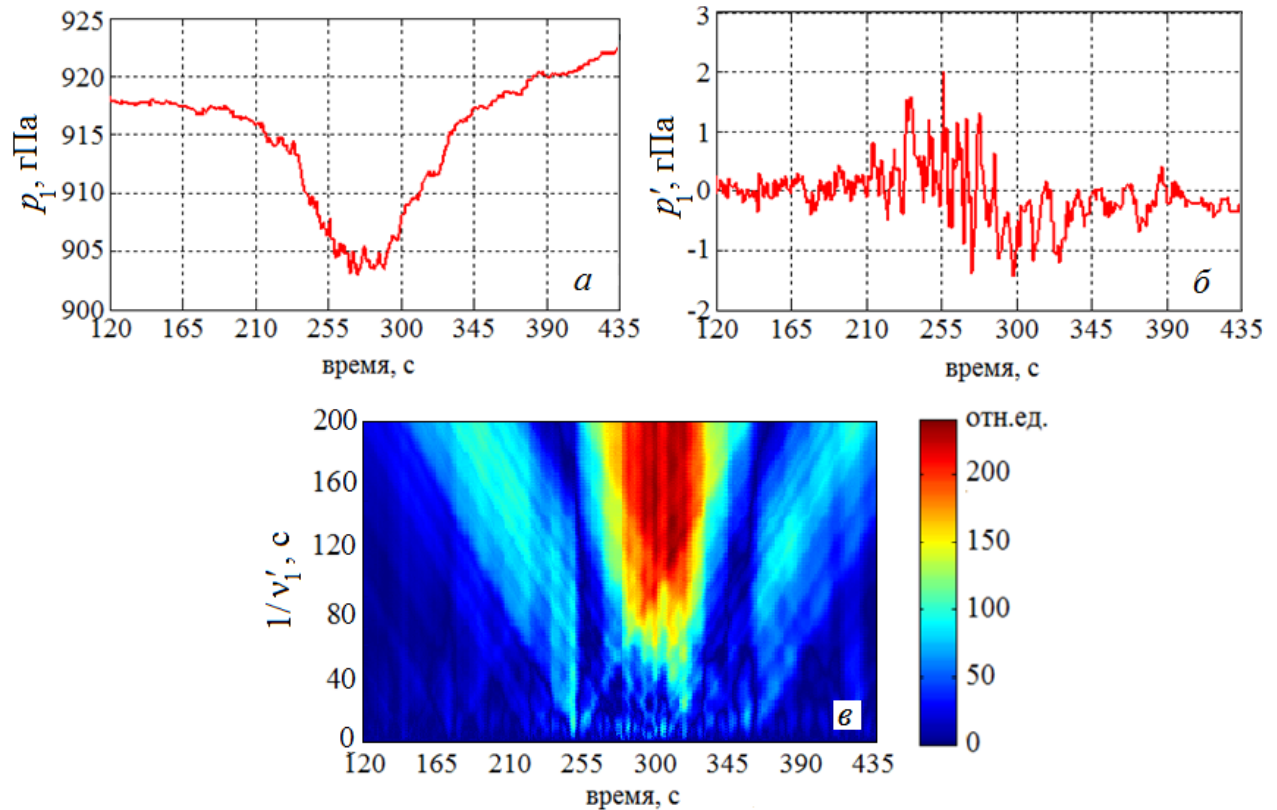


Рис. 1 – Эволюция давления в торнадо (Пратт, Канзас, 7.05.2002) (а), флуктуации атмосферного давления (б), вейвлет-спектр флуктуаций давления (в)

Влияние турбулентности на генерацию завихренности в тайфунах также оцениваем по формуле (7). Характерные частоты турбулентных пульсаций составляют $\nu'_2 \sim 5 \cdot 10^{-5}$ Гц, $\nu'_3 \sim 2 \cdot 10^{-5}$ Гц (рис. 2 д,е). Размер урагана обычно имеет порядок 500 – 1000 км, радиус глаза считаем равным $R_2=R_3 \sim 100$ км. Максимальные азимутальные скорости в тайфунах равнялись $U_2=54$ м/с [10], $U_3=35$ м/с [11]. Формула (7) дает следующие оценки относительного влияния турбулентности: $N_2 \sim 0,34$, $N_3 \sim 0,13$. Следовательно, вклад турбулентности в интенсификацию завихренности потока может быть сравним с влиянием растяжения вихревых линий.

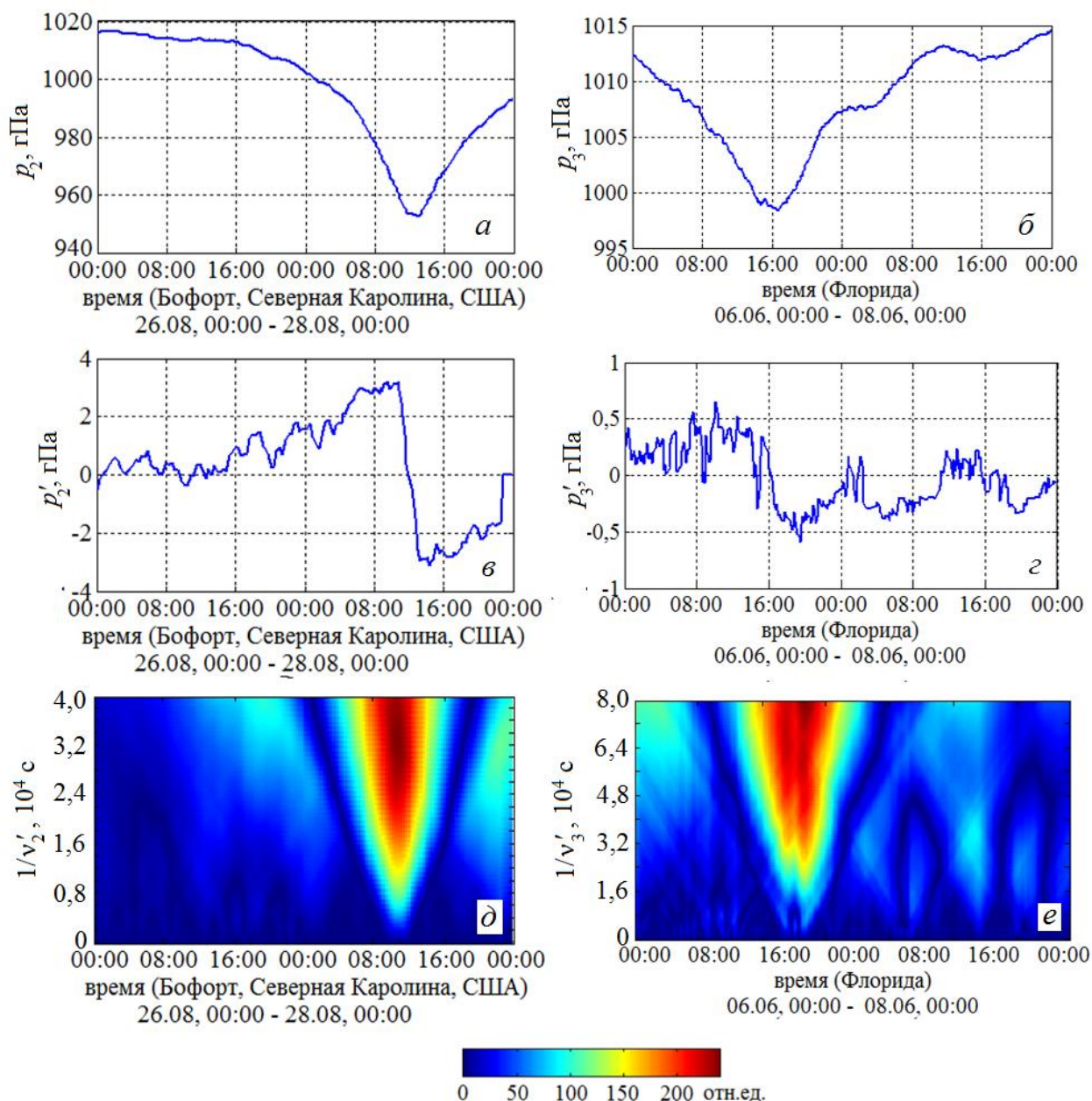


Рис. 2 – Изменение давления в тайфунах Айрин (а) и Андреа (б), флуктуации давления в тайфунах (в, г), вейвлет-спектры флуктуаций давления в ураганах Айрин (д) и Андреа (е)

На основе гидродинамических уравнений исследован механизм генерации завихренности тайфунов и торнадо за счет атмосферной турбулентности. С помощью вейвлет-анализа натурных данных определена характерная частота турбулентных пульсаций. Получено, что в исследованных вихрях вклад турбулентности в завихренность среднего потока составляет до 35% от влияния растяжения вихревых линий. Таким образом, показано, что ролью турбулентности в генерации завихренности нельзя пренебрегать в ходе теоретического исследования интенсивных атмосферных вихрей.

Список литературы/References

1. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность / Д.В. Наливкин. – Л.: Наука, 1969. – 487 с.
2. Арсеньев С.А. Теория мезомасштабной турбулентности. Вихри атмосферы и океана / С.А. Арсеньев, В.А. Бабкин, А.Ю. Губарь и др.; под общ. ред. Г.С. Голицына. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. – 308 с.
3. Курганский М.В. Генерация спиральности во влажной атмосфере / М.В. Курганский // Известия РАН. Серия Физика атмосферы и океана. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 464 – 469.
4. Натяганов В.Л., Маслов С.А. Ломоносов и загадки природного электричества. Часть 4. Электромагнитные механизмы формирования торнадоподобного смерча / В.Л. Натяганов, С.А. Маслов // Вестник Московского университета. Серия 1, Математика. Механика. – 2014. – № 2. – С. 32 – 38.
5. Маслов С.А. Электрические механизмы усиления завихренности в воронке торнадо / С.А. Маслов // Вестник Московского университета. Серия 1, Математика. Механика. – 2015. – №6. – С. 54 – 58.
6. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 464 с.

7. Маслов А.К., Маслов С.А., Панфилов Д. Влияние мелкомасштабной турбулентности на крупномасштабную завихренность / А.К. Маслов, С.А. Маслов, Д. Панфилов // Современные проблемы прикладной математики, теории управления и математического моделирования: материалы IV Международной научной конференции. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2011. – С. 190 – 192.

8. Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л. Введение в теорию концентрированных вихрей / С.В. Алексеенко, П.А. Куйбин, В.Л. Окулов. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2003. – 504 с.

9. Samaras T.M., Lee J.J. Pressure measurements within a large tornado [Electronic resource] / T.M. Samaras, J.J. Lee. – URL: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/74267.pdf> (accessed: 24.11.2017).

10. Hurricane Irene August 26 – 27, 2011. [Electronic resource]. – URL: <http://www.weather.gov/mhx/Aug272011EventReview> (accessed: 24.11.2017).

11. Tropical Storm Andrea Event Summary. [Electronic resource]. – URL: http://www.weather.gov/tae/event-201306_andrea (accessed: 24.11.2017).

12. Maslov S.A. Wavelet analysis of the parameters of edge plasma fluctuations in the L-2M stellarator [Electronic resource] / S.A. Maslov, D.G. Vasilkov, Yu.V. Kholnov and others // Journal of Physics. Conference Series. – 2016. – V. 666(1). – P. 012009. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/666/1/012009> (accessed: 24.11.2017).

Список литературы на английском языке/References in English

1. Nalivkin D.V. Uragany, buri i smerchi. Geograficheskie osobennosti i geologicheskaja dejatel'nost' [Hurricanes, storms and tornadoes. Geographical specialities and geological activity] / D.V. Nalivkin. – L.: Nauka, 1969. – 487 p. [in Russian]

2. Arsen'ev S.A. Teorija mezomasshtabnoj turbulentnosti. Vihri atmosfery i okeana [Theory of mesoscale turbulence. Vortices of atmosphere and Ocean] / S.A. Arsen'ev, V.A. Babkin, A.Ju. Gubar' and others; edited by G.S. Golitsyn. M. – Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovanij, NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 2010. – 308 p. [in Russian]

3. Kurganskij M.V. Generacija spiral'nosti vo vlazhnoj atmosfere [Spirality generation in a moist atmosphere] / M.V. Kurganskij // Izvestija RAN. Serija Fizika atmosfery i okeana. [Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics Series]. – 1993. – V. 29. – N 4. – P. 464 – 469. [in Russian]

4. Natjaganov V.L., Maslov S.A. Lomonosov i zagadki prirodnogo jelektrichestva. Chast' 4. Jelektromagnitnye mehanizmy formirovanija tornadopodobnogo smercha [Lomonosov and the enigma of natural electricity. Part 4. Electromagnetic mechanisms of forming a tornado-like whirlwind] / V.L. Natjaganov, S.A. Maslov // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 1, Matematika. Mehanika [Bulletin of the Moscow University. Series 1. Mathematics. Mechanics]. – 2014. – N 2. – P. 32 – 38. [in Russian]

5. Maslov S.A. Jelektricheskie mehanizmy usilenija zavihrennosti v voronke tornado [Electric mechanisms of vorticity amplification in the funnel of a tornado] / S.A. Maslov // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 1, Matematika. Mehanika [Bulletin of the Moscow University. Series 1. Mathematics. Mechanics]. – 2015. – N 6. – P. 54 – 58. [in Russian]

6. Dobeshi I. Desjat' lekcij po vejvletam [Ten lectures on wavelets] / I. Dobeshi. – Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 2004. – 464 p. [in Russian]

7. Maslov A.K., Maslov S.A., Panfilov D. Vlijanie melkomasshtabnoj turbulentnosti na krupnomasshtabnuju zavihrennost' [The influence of small-scale turbulence on large-scale vorticity] / A.K. Maslov, S.A. Maslov, D. Panfilov // Sovremennye problemy prikladnoj matematiki, teorii upravlenija i matematicheskogo modelirovanija: materialy IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. [Modern Problems of Applied Mechanics, Control Theory and Mathematical Modelling: Proceedings of the Fourth International Conference]. – Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskij centr VGU, 2011. – pp. 190 – 192. [in Russian]

8. Alekseenko S.V., Kujbin P.A., Okulov V.L. Vvedenie v teoriju koncentrirovannyh vihrej [Introduction to theory of concentrated vortices] / S.V. Alekseenko, P.A. Kujbin, V.L. Okulov. – Novosibirsk: Institut teplofiziki SO RAN, 2003. – 504 p. [in Russian]

9. Samaras T.M., Lee J.J. Pressure measurements within a large tornado [Electronic resource] / T.M. Samaras, J.J. Lee. – URL: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/74267.pdf> (accessed: 24.11.2017).

10. Hurricane Irene August 26 – 27, 2011. [Electronic resource]. – URL: <http://www.weather.gov/mhx/Aug272011EventReview> (accessed: 24.11.2017).

11. Tropical Storm Andrea Event Summary. [Electronic resource]. – URL: http://www.weather.gov/tae/event-201306_andrea (accessed: 24.11.2017).

12. Maslov S.A. Wavelet analysis of the parameters of edge plasma fluctuations in the L-2M stellarator [Electronic resource] / S.A. Maslov, D.G. Vasilkov, Yu.V. Kholnov and others // Journal of Physics. Conference Series. – 2016. – V. 666(1). – P. 012009. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/666/1/012009> (accessed: 24.11.2017).

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERINGDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.103>Альмухаметова Э.М.¹, Шамсутдинова Г.Ф.²¹Доцент, ²старший делопроизводитель,

ФГБОУ ВО филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ
УГЛЕВОДОРОДОВ И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ НА ФЕДОРОВСКОМ
МЕСТОРОЖДЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА АС7-8****Аннотация**

Эффективность разработки нефтяных месторождений в первую очередь определяется состоянием призабойной зоны пласта (ПЗП), которая наиболее подвержена различным физико-химическим и термодинамическим изменениям, как в процессе вскрытия пласта, так и эксплуатации скважин. Как правило, фильтрационные свойства пород-коллекторов в ПЗП из-за влияния технологических факторов (загрязнение фильтратом бурового раствора и жидкости глушения, выпадения асфальто-смоло-парафиновых отложений) ниже, чем в удаленной зоне пласта. Высокая послойная неоднородность по проницаемости, наличие контакта с водоносной частью залежи приводят к опережающему обводнению продукции скважин, а также к частичному или полному отключению из разработки интервалов пласта с пониженной проницаемостью. Таким образом, возникает необходимость проведения мероприятий по увеличению фильтрационных свойств пород в ПЗП, выравниванию профилей притока и приемистости, ликвидации конусов обводнения и заколонных перетоков воды. Из-за кратковременности эффекта от воздействия на ПЗП, который редко длится более года, эти работы проводятся на протяжении всего срока разработки пластов и являются основным средством вывода скважин на оптимальный режим эксплуатации.

Ключевые слова: перфорационные технологии; ремонтно-изоляционные мероприятия; гидродинамические методы.

Almukhametova E.M.¹, Shamsutdinova G.F.²¹Associate professor, ²Senior record clerk,

FSBEI of HE, branch of Ufa State Petroleum Technological University in Oktyabrsky

**EFFICIENCY ANALYSIS OF APPLIED METHODS OF HYDROCARBON PRODUCTION INTENSIFICATION
AND INCREASE OF OIL RECOVERY AT BENCHES IN FEDOROV DEPOSIT ON EXAMPLE OF AC7-8 OBJECT****Abstract**

The efficiency of the development of oil fields is primarily determined by the state of the bottomhole formation zone (BFZ), which is primary subjected to various physical, chemical and thermodynamic changes, both during the opening of the formation and the operation of the wells. As a rule, the filtration properties of reservoir rocks in the BFZ due to the influence of technological factors (contamination of the drilling mud filtrate and the filtrate liquid, the asphalt-tar-paraffin deposits) are lower than those in the remote formation zone. High layered heterogeneity in permeability, the presence of contact with the aquifer part of the deposit lead to faster watering of well production, as well as to partial or complete disconnection of the development intervals of the reservoir with reduced permeability. Thus, there is a need to carry out the measures to increase the filtration properties of rocks in the BFZ, equalize the inflow and intake profiles, eliminate the cones of watering and stained water flows. Because of the short-term effect from the impact on the BFZ, which rarely lasts for more than a year, these works are carried out throughout the entire period of the development of the seams and are the main means of bringing the wells to optimal operating conditions.

Keywords: perforating technologies; repair and insulation measures; hydrodynamic methods.

В административном отношении Федоровское месторождение находится в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа - Югры Тюменской области в 50 км к северу от г. Сургута. Месторождение расположено в границах Федоровского лицензионного участка, недропользователем которого является ОАО «Сургутнефтегаз» (лицензия ХМН №00408 НЭ от 14.07.1993 г., срок окончания действия - 31.12.2086 г.).

Федоровское месторождение открыто в 1971 году, введено в эксплуатацию в 1973 году.

Нефтегазоносность на месторождении установлена в нижнемеловых отложениях сангопайской свиты баремского возраста (пласты АС₄₋₈, АС₆¹, АС₇₋₈, АС₉), усть-балыкской свиты готеривского возраста (пласт БС₁₋₂), сортымской свиты берриасс-валанжинского возраста (пласты БС₁₀¹, БС₁₀, БС₁₄^φ, БС₁₅^φ, БС₁₆, БС₁₆^φ, БС₁₇, БС₁₇^φ, БС₁₇^{1φ}, БС₁₈, БС₁₈^φ, БС₁₉) и средне-верхнеюрских отложениях васюганской (пласты ЮС₁¹⁻², ЮС₁³) и тюменской свит (пласты ЮС₂¹, ЮС₂²).

На месторождении, в течение всего срока его разработки, проводились мероприятия по воздействию на пласты с целью восстановления и повышения продуктивности добывающих и приёмистости нагнетательных скважин: гидравлический разрыв пласта (ГРП), обработки призабойной зоны физико-химическими методами, перфорационные и изоляционные мероприятия. На нагнетательном фонде скважин, с целью повышения нефтеотдачи и увеличения охвата пластов заводнением, применялись потокоотклоняющие и нефтеотмывающие технологии, а также гидродинамические методы [1, С. 478-487], [2, С. 348-355].

В процессе разработки залежей выделяются два основных направления воздействия на пласты: воздействие через добывающие скважины и через нагнетательные.

При воздействии на пласты через добывающие скважины решаются задачи вовлечения в разработку всей перфорированной толщины пласта, сохранения, а при необходимости, увеличения фильтрационных свойств пород в призабойной зоне пласта и ограничения притоков пластовой воды [2, С. 356-360].

При воздействии на пласты через нагнетательные скважины решаются те же задачи, что и при воздействии через добывающие скважины, а также акцент переносится на более глубокое воздействие. Это достигается закачкой оторочек химических реагентов и применением гидродинамических методов.

В добывающих и нагнетательных скважинах проводились мероприятия по воздействию на призабойную зону скважины в процессе эксплуатации, при переводе скважин с объекта на другой объект, при вводе в эксплуатацию, в том числе после зарезки боковых стволов, а также при переводе нагнетательных скважин из отработки в систему поддержания пластового давления (ППД) и совместно с ГРП [3, С. 9-13].

Для планирования наиболее эффективных мероприятий на прогнозный период разработки анализ проведен по скважинам, в которых воздействия на ПЗП проведены в период эксплуатации [4, С. 3-6].

Применяемые технологии по воздействию на удаленную и призабойную зону пласта разделены на следующие виды воздействий:

- обработка призабойной зоны (ОПЗ) физико-химическими методами (обработки химическими реагентами, депрессионные методы);
- перфорационные технологии;
- ремонтно-изоляционные мероприятия, работы (РИР);
- технологии МУН;
- гидродинамические методы.

На добывающем фонде скважин за анализируемый период проведена одна соляно-кислотная с добавлением ПАВ обработка призабойной зоны пласта (при промывке забоя скважины) [5, С. 16-25].

Объем закачки химических реагентов составил 10 м^3 .

За счет проведения СКО+ПАВ дополнительно добыто 12,6 т нефти, при продолжительности эффекта 8 суток. Прирост дебита нефти составил 1,6 т/сут.

На нагнетательном фонде скважин проведено два воздействия на ПЗП химическими реагентами (ОПЗ растворителем + СКО, ОПЗ раствором ПАВ).

Средний объем закачки химических реагентов составил 11 м^3 .

За счет проведения двух мероприятий в нагнетательных скважинах по окружающим добывающим скважинам дополнительно добыто 1999,0 тыс. т нефти, при удельной эффективности 999,5 т/скв.-опер. и средней продолжительности эффекта 308 суток. Средняя кратность увеличения приемистости составила 1,7 раза, при успешности мероприятий 100 % [6, С. 20-27].

На добывающем фонде скважин проведено одно мероприятие по повторной перфорации продуктивных интервалов совместно с устранением негерметичности забоя.

Кратность увеличения дебита нефти после проведения в апреле 2010 года в скважине №2210 комплексного мероприятия составила 3,4 раза, при продолжительности эффекта 1333 сут.

За счет проведения повторной перфорации дополнительно добыто 1113,1 тыс. т нефти. С учетом переходящего эффекта от ранее проведенных перфорационных мероприятий дополнительно добыто 2,71 тыс. т нефти [7, С. 195-223].

На добывающем фонде скважин за анализируемый период проведено 2 мероприятия, в том числе совместно с перфорационными воздействиями – одно скв.-опер.

В скважине №1577 в декабре 2012 года проведены работы по устранению негерметичности эксплуатационной колонны [8, С. 95-110].

Дебит скважины по жидкости (нефти) до проведения РИР составлял 140,7 (0,8) т/сут, при обводненности добываемой продукции 99,5 %. После РИР дебит жидкости снизился до 96,6 т/сут, дебит нефти увеличился до 2,3 т/сут, обводненность добываемой продукции снизилась до 97,6 %.

За счет РИР дополнительно добыто 210,6 т нефти, при продолжительности эффекта 106 сут.

Проведение РИР по устранению негерметичности забоя совместно с перестрелом продуктивных интервалов в скважине №2210 характеризуется эффективностью 480,4 т дополнительно добытой нефти [9, С. 165-171].

За анализируемый период на объекте проведена одна скважинооперация по закачке в нагнетательную скважину №6120 вязко-эмульсионного состава

Объем закачки химреагентов составил 100 м^3 .

За счет воздействия проведенного в ноябре 2013 года по окружающим добывающим скважинам текущая дополнительная добыча нефти составила 134,8 тонн. Эффект продолжается [10, С. 184-189].

Итак, в целом по объекту АС7-8 за период 2010-2013 годов на долю применения ГРП приходится 58,8 %, ОПЗ химическими реагентами – 17,6 %, проведения ремонтно-изоляционных работ – 11,8 %, перфорационных мероприятий – 5,9 %, технологий МУН – 5,9 % в общем объеме проведения мероприятий по интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи. Основной объем дополнительной добычи нефти от проведенных мероприятий приходится на долю ГРП (86 %). Доля дополнительной добычи нефти от проведения перфорационных мероприятий составляет 6,8 %, ОПЗ химическими реагентами – 5,1 %, ремонтно-изоляционных мероприятий – 1,8 %, технологий МУН – 0,3 %.

Планируется проведение 1707 воздействий на пласт, в том числе гидравлический разрыв пласта – 4, ОПЗ физико-химическими методами – 481, перфорационных мероприятий – 266 и ремонтно-изоляционных мероприятий – 471. Для воздействия на удаленную зону пласта запланировано проведение 360 скважиноопераций по закачке в нагнетательные скважины оторочек химических реагентов и 125 гидродинамических мероприятий.

Всего за прогнозный период на скважинах объекта АС7-8 от проведения 1707 мероприятий по интенсификации добычи нефти и повышению нефтеотдачи с учетом переходящего эффекта от ранее проведенных мероприятий планируется дополнительно добыть 526,7 тыс. т нефти, или 13,6 % в общей добыче.

Список литературы / References

1. Коротаев Ю.П. Добыча, транспорт и подземное хранение газа / Ю.П. Коротаев, А.М. Ширковский. – М.: Недра. – 1984. – с. 478-487.

2. Коротаев Ю.П. Добыча, подготовка и транспорт природного газа и конденсата / Ю.П. Коротаев, Г.Р. Гуревич. – М.: Недра. – 1984. – т. 1. – С. 348-360.
3. Чириков Л.И. Применение акустических полей для обработки призабойной зоны скважины на месторождениях Западной Сибири / Л.И. Чириков, Л.Ф. Волков, А.Т. Шебелянский. // Вопросы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири. – Тюмень. – 1988. – с. 9-13.
4. Альмухаметова Э.М. Эксплуатация скважин в осложненных условиях / Э.М. Альмухаметова, Н.Х. Габдрахманов, А.Х. Габзалилова. // Учебное пособие. Уфа. – 2015. – с. 45-55.
5. Владимиров И.В. Применение нестационарного заводнения на залежах высоковязкой нефти с коллектором двойной проницаемости / И.В. Владимиров, Э.М. Велиев, Э.М. Альмухаметова, Д.Т. Абиляхиров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. №4. – с. 16-25.
6. Альмухаметова Э.М. Результаты применения технологии нестационарного заводнения с изменением направления фильтрационных потоков на участке залежи высоковязкой нефти первого эксплуатационного объекта месторождения Северные Бузачи / Э.М. Альмухаметова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. №3(101). – с. 20-27.
7. Кузнецов Г.С. Геофизические методы контроля разработки нефтяных и газовых месторождений / Г.С. Кузнецов, Е.И. Леонтьев, Р.А. Резванов // Учебник для вузов. – М.: Недра. – 1991. – с. 195-223.
8. Токарев М.А. Анализ эффективности применения методов повышения нефтеотдачи на крупных объектах разработки / М.А. Токарев, Э.Р. Ахмерова // Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2001. – с. 95-110.
9. Хуснуллин М.Х. Геофизические методы контроля разработки нефтяных пластов / М.Х. Хуснуллин. – М.: Недра. – 1989. – с. 165-171.
10. Султанов С.А. Контроль за заводнением нефтяных пластов / С.А. Султанов. – М.: Недра. – 1974. – с. 184-189.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korotaev Yu.P. Dobycha, transport i podzemnoe khranenie gaza [Extraction, transport and underground storage of gas] / Yu.P. Korotaev, A.M. Shirkovskiy. – М.: Nedra. – 1984. – p. 478-487. [in Russian]
2. Korotaev Yu.P. Dobycha, podgotovka i transport prirodnogo gaza i kondensata [Extraction, preparation and transportation of natural gas and condensate] / Yu.P. Korotaev, G.R. Gurevich. – М.: Nedra. – 1984. – Т. 1. – p. 348-360. [in Russian]
3. Chirikov L.I. Primenenie akusticheskikh poley dlya obrabotki prizaboynoy zony skvazhiny na mestorozhdeniyakh Zapadnoy Sibiri [The use of acoustic fields to treat the bottomhole zone of the well at the fields of Western Siberia] / L.I. Chirikov, L.F. Volkov, A.T. Shebelyanskiy. // Voprosy razrabotki i ekspluatatsii neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri [The development and exploitation of oil and gas fields in Western Siberia]. – Tyumen'. – 1988. – p. 9-13. [in Russian]
4. Al'mukhametova E.M. Ekspluatatsiya skvazhin v oslozhnennykh usloviyakh [Operation of wells in complicated conditions] / E.M. Al'mukhametova, N.Kh. Gabdrakhmanov, A.Kh. Gabzalilova. // Uchebnoe posobie [Tutorial]. Ufa. – 2015. – p. 45-55. [in Russian]
5. Vladimirov I.V. Primenenie nestatsionarnogo zavodneniya na zalezhakh vysokov'yazkoy nef'ti s kollektorom dvoynoy pronitsaemosti [Application of non-stationary flooding on deposits of high-viscosity oil with a collector of double permeability] / I.V. Vladimirov, E.M. Veliev, E.M. Al'mukhaetova, D.T. Abilkhairov // Problemy sbora, podgotovki i transporta nef'ti i nef'teproduktov [Problems of collecting, preparing and transporting oil and oil products]. – 2014. №4. – p. 16-25. [in Russian]
6. Al'mukhametova E.M. Rezul'taty primeneniya tekhnologii nestatsionarnogo zavodneniya s izmeneniem napravleniya fil'tratsionnykh potokov na uchastke zalezhi vysokov'yazkoy nef'ti pervogo ekspluatatsionnogo ob'ekta mestorozhdeniya Severnye Buzachi [The results of application of the technology of non-stationary flooding with a change in the direction of filtration flows in the section of the high-viscosity oil deposit of the first operational site of the Severnye Buzachi deposit] / E.M. Al'mukhametova // Problemy sbora, podgotovki i transporta nef'ti i nef'teproduktov [Problems of collecting, preparing and transporting oil and oil products]. – 2015. №3(101). – p. 20-27. [in Russian]
7. Kuznetsov G.S. Geofizicheskie metody kontrolya razrabotki nef'tyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Geophysical methods of control over the development of oil and gas fields] / G.S. Kuznetsov, E.I. Leont'yev, R.A. Rezvanov // Uchebnik dlya vuzov [Textbook for high schools]. – М.: Nedra. – 1991. – p. 195-223. [in Russian]
8. Tokarev M.A. Analiz effektivnosti primeneniya metodov povysheniya nef'teotdachi na krupnykh ob'ektakh razrabotki [Analysis of the effectiveness of enhanced oil recovery methods at major development sites] / M.A. Tokarev, E.R. Akhmerova // Uchebnoe posobie [Tutorial]. – Ufa: Izd-vo UGNTU. – 2001. – p. 95-110. [in Russian]
9. Khusnullin M.Kh. Geofizicheskie metody kontrolya razrabotki nef'tyanykh plastov [Geophysical methods of control of oil reservoir development] / M.Kh. Khusnullin. – М.: Nedra. – 1989. – p. 165-171. [in Russian]
10. Sultanov S.A. Kontrol' za zavodneniem nef'tyanykh plastov [Control of waterflooding] / S.A. Sultanov. – М.: Nedra. – 1974. – p. 184-189. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.099>

Антропов В.В.

ORCID: 0000-0002-8019-5164, аспирант,

Санкт-Петербургский Горный университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЭТАПЕ ИХ АНАЛИЗА**Аннотация**

Сформирована исследовательская выборка, которая применялась для демонстрации работоспособности прогнозирования значений признаков воздушных объектов. Рассмотрено применение кластеризации семействами алгоритмов *k-means* и *g-means* в задачах распознавания воздушных объектов в условиях неполноты и недостоверности данных. Подчёркнута важность кластеризации в задачах распознавания. Проведено прогнозирование значений параметров воздушных объектов. Рассмотрена возможность более точного прогнозирования признаков воздушных объектов уже после этапа их кластеризации.

Ключевые слова: авиация, воздушные объекты, распознавание, радиолокационное распознавание, кластеризация, кластеризации *k-means* и *g-means*, прогнозирование с помощью линейной регрессии.

Antropov V.V.

ORCID: 0000-0002-8019-5164, Postgraduate student,

St. Petersburg Mining University

FORECASTING VALUES OF AIR OBJECT PARAMETERS DURING THEIR ANALYSIS**Abstract**

A research sample was formed, and used to demonstrate the ability to predict the values of the parameters of air objects. The application of clustering by families of *k-means* and *g-means* algorithms in problems of recognition of air objects under the conditions of incompleteness and unreliability of data is considered in the paper, the importance of clustering in recognition problems is highlighted. The prediction of the values of the parameters of air objects is carried out and the possibility of more precise prediction of the parameters of air objects after their clustering is considered.

Keywords: aviation, air objects, recognition, radar detection, clustering, *k-means* and *g-means* clustering, linear regression prediction.

С начала XX-ого века человечество стало развивать авиацию. От допотопного аппарата, изобретённого братьями Райт, до тяжелейших металлических монстров, напичканных электроникой. Развитие авиации шло в ногу с развитием технологий, и сейчас уже конструкторы заявляют о возможности создания самолётов шестого поколения. Каждая новая эпоха ставила перед человечеством новые сложные задачи, решать которые, оно стало с помощью авиации. Примитивные летательные аппараты начала XX-ого века, совершенствуясь, стали отвечать за конкретные направления жизнедеятельности человека. Авиация широко применяется в военных конфликтах, в логистических целях, в целях пассажироперевозок и пр. В связи с увеличением количества воздушных объектов, возникла проблема с контролем воздушной обстановки. Одной из важнейших задач контроля над воздушными объектами, является задача оперативной обработки информации, связанной с распознаванием типов воздушных объектов, и возможных ситуаций, связанных с их действиями. Обработку информации о летательных аппаратах следует максимально автоматизировать, максимально сократив человеческий фактор, и максимально оптимизировать процесс обработки информации.

Обработка данных о летательных аппаратах содержит ряд трудностей. Основные из них, неполнота информации, её недостоверность, недостаточное быстроедействие, человеческий фактор и пр. Распознавание воздушных объектов производится по ряду признаков, получаемых средствами слежения. В результате обработки признаков воздушных объектов, мы делаем вывод о принадлежности летательного аппарата к тому или иному классу.

Выделено четыре основных этапа в распознавании летательных аппаратов:

- Селекция отметок воздушных объектов на фоне помех;
- Классификация воздушных объектов;
- Опознавание воздушных объектов;
- Оценка состояния и контроль действий целей воздушных объектов.

Большинство исследователей делят методики определения воздушных объектов на три типа: визуальные, траекторные и радиолокационные. В данной работе представлена методика радиолокационного распознавания.

В статье [4, С. 6-9] подробно описывался процесс кластеризации воздушных объектов. Была образована выборка из нескольких их летательных аппаратов, которые, в свою очередь были отнесены к тем, или иным кластерам. Кластеризация проводилась семействами алгоритмов *k-means* и *g-means*. Данные алгоритмы обычно используются в решении задач описательной бизнес-аналитики. В ходе исследований они продемонстрировали свою работоспособность и при работе с признаками воздушных объектов. Для обработки данных о воздушных объектах и применении алгоритмов кластеризации использовалось средство Data Mining. В качестве характеристик воздушных объектов, на основе которых и будут созданы кластеры, были взяты длина (м), высота (м), площадь крыла (м^2), размах крыла (м), практический потолок (м), максимальная скорость на высоте (км/ч) воздушных объектов. Результаты кластеризации алгоритмами *k-means* и *g-means* представлены на рис.1 и рис.2.

| Самолет | Длина,м | Высота,м | Площадь крыла,м2 | Размах крыла,м | Практический потолок,м | Максимальная скорость на высоте,км/ч | Номер кластера | Расстояние до центра кластера |
|----------------|---------|----------|------------------|----------------|------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| МиГ-29 | 17,32 | 4,73 | 38,06 | 11,36 | 18000 | 2450 | 0 | 53,3333524647991 |
| МиГ-35 | 17,32 | 4,73 | 40 | 12 | 17500 | 2560 | 0 | 56,6666827369982 |
| Су-27СМ | 21,935 | 5,932 | 62,04 | 14,698 | 18000 | 2500 | 0 | 3,33435349160901 |
| F/A-18E | 18,31 | 4,88 | 46,45 | 11,62 | 15240 | 1915 | 1 | 23,3369985730103 |
| F-35C | 15,67 | 4,48 | 58,3 | 13,11 | 18200 | 1700 | 1 | 238,333637552896 |
| Ту-160 | 54,1 | 13,1 | 232 | 55,7 | 22000 | 2200 | 1 | 261,667815078509 |
| Cessna 182 | 8,8 | 2,8 | 16,2 | 11 | 5517 | 278 | 2 | 54,6667172023979 |
| Ан-2 | 12,4 | 5,35 | 71,52 | 5,795 | 4200 | 300 | 2 | 32,6670277408406 |
| Як-52 | 7,68 | 2,7 | 15 | 9,3 | 6000 | 420 | 2 | 87,333374767904 |
| A-320 | 37,57 | 11 | 122,6 | 34,1 | 12000 | 840 | 3 | 65,5461764018554 |
| B-2 Spirit | 20,9 | 5,1 | 460 | 52,12 | 15240 | 1010 | 3 | 104,456667675892 |
| B-52H | 49,05 | 12,4 | 371,6 | 56,39 | 16965 | 957 | 3 | 51,4563658571687 |
| Boeing-787-10 | 68,27 | 17 | 325 | 60,17 | 13100 | 956 | 3 | 50,4585336265061 |
| Boeing-747-400 | 70,7 | 19,4 | 541,2 | 64,4 | 13750 | 920 | 3 | 14,4849375610158 |
| F-117 | 20,08 | 3,78 | 73 | 13,2 | 13700 | 993 | 3 | 87,4585568733753 |
| Ил-78 | 46,54 | 14,76 | 300 | 50,5 | 11230 | 830 | 3 | 75,5459737916636 |
| Су-28 | 15,36 | 5,2 | 30,1 | 14,36 | 7000 | 950 | 3 | 44,4637493509375 |
| Ту-95МС | 49,13 | 13,3 | 289,9 | 50,04 | 10500 | 830 | 3 | 75,54584102494 |
| Ту-154М | 47,9 | 11,4 | 202 | 37,55 | 12100 | 975 | 3 | 69,4547513679763 |
| Як-42 | 36,38 | 9,83 | 150 | 34,88 | 9600 | 700 | 3 | 205,545694243105 |

Рис. 1 – Общий набор после кластеризации алгоритмом k-means

| Самолет | Длина,м | Высота,м | Площадь крыла,м2 | Размах крыла,м | Практический потолок,м | Максимальная скорость на высоте,км/ч | Номер кластер. | Расстояние до центра кластера |
|----------------|---------|----------|------------------|----------------|------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Cessna 182 | 8,8 | 2,8 | 16,2 | 11 | 5517 | 278 | 2 | 139,65701232567 |
| Ан-2 | 12,4 | 5,35 | 71,52 | 5,795 | 4200 | 300 | 2 | 117,65695756157 |
| Як-52 | 7,68 | 2,7 | 15 | 9,3 | 6000 | 420 | 2 | 2,39704049224573 |
| A-320 | 37,57 | 11 | 122,6 | 34,1 | 12000 | 840 | 1 | 32,8023424775662 |
| B-2 Spirit | 20,9 | 5,1 | 460 | 52,12 | 15240 | 1010 | 1 | 137,200851286232 |
| B-52H | 49,05 | 12,4 | 371,6 | 56,39 | 16965 | 957 | 1 | 84,2003353368123 |
| Boeing-787-10 | 68,27 | 17 | 325 | 60,17 | 13100 | 956 | 1 | 83,2016758326934 |
| Boeing-747-400 | 70,7 | 19,4 | 541,2 | 64,4 | 13750 | 920 | 1 | 47,208354426637 |
| F-117 | 20,08 | 3,78 | 73 | 13,2 | 13700 | 993 | 1 | 120,202322738618 |
| Ил-78 | 46,54 | 14,76 | 300 | 50,5 | 11230 | 830 | 1 | 42,8015672183067 |
| Су-28 | 15,36 | 5,2 | 30,1 | 14,36 | 7000 | 950 | 1 | 77,2048056644737 |
| Ту-95МС | 49,13 | 13,3 | 289,9 | 50,04 | 10500 | 830 | 1 | 42,8013378056681 |
| Ту-154М | 47,9 | 11,4 | 202 | 37,55 | 12100 | 975 | 1 | 102,199486889864 |
| Як-42 | 36,38 | 9,83 | 150 | 34,88 | 9600 | 700 | 1 | 172,801007265297 |
| F/A-18E | 18,31 | 4,88 | 46,45 | 11,62 | 15240 | 1915 | 0 | 131,829144446515 |
| F-35C | 15,67 | 4,48 | 58,3 | 13,11 | 18200 | 1700 | 0 | 83,1727907976544 |
| МиГ-29 | 17,32 | 4,73 | 38,06 | 11,36 | 18000 | 2450 | 0 | 666,828596249269 |
| МиГ-35 | 17,32 | 4,73 | 40 | 12 | 17500 | 2560 | 0 | 776,8285653728 |
| Су-27СМ | 21,935 | 5,932 | 62,04 | 14,698 | 18000 | 2500 | 0 | 716,828519793125 |
| Ту-160 | 54,1 | 13,1 | 232 | 55,7 | 22000 | 2200 | 0 | 416,829150286382 |

Рис. 2 – Общий набор после кластеризации алгоритмом g-means

По итогам кластеризации можно спрогнозировать значения тех или иных признаков воздушных объектов, которые были утеряны или отсутствовали вовсе в процессе обработки информации.

Прогноз (целевая группировка прогнозов) состоит из объекта исследования и прогнозного фона. Под объектом исследования понимают предмет, область, конфигурацию и т.п. Объект исследования – это ведущее направление прогноза, а прогнозный фон, в свою очередь, вспомогательные направления прогноза.

Введено определение переменной объекта прогнозирования. Переменная объекта прогнозирования – это характеристика объекта (предмета, конфигурации, области и т.п.) прогнозирования, которую берут в качестве переменной для составления прогноза. Переменные объекта прогнозирования бывают двух типов: значащие (важная для описания объекта) и незначащие. Их также называют эндогенными (внутренние, отражающие свойства самого объекта) и экзогенные (внешние, отражающие свойства прогнозного фона).

Объект (предмет, процесс, действие, состояние) прогнозирования – явление природы или общественной жизни, развитие которого можно спрогнозировать; совокупность предметов, явлений и процессов, будущее состояние которых необходимо знать для оптимального принятия решения. Совокупность можно сравнить с системой.

Выбранный метод прогнозирования вычисляет или предсказывает будущее значение по существующим значениям. Предсказываемое значение – это значение y , соответствующее заданному значению x . Значения x и y известны; новое значение предсказывается с использованием линейной регрессии. Эта функция широко применяется в бизнес-аналитике для прогнозирования будущих продаж, потребностей в оборудовании или тенденций потребления. Применение её для прогнозирования значений признаков воздушных объектов может сократить возможность потенциальной ошибки, в случае если оператор по каким-либо причинам сомневается, или же заведомо известно, что величина, сравниваемая с прогнозируемой, может не соответствовать действительности. Также данный метод можно применить в том случае, если интересующее нас значение признака воздушного объекта отсутствует вовсе.

Уравнение для функции прогнозирования имеет вид $a+bx$, где:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{и} \quad b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}, \quad \text{где } x \text{ и } y - \text{средние значения выборок.}$$

Результаты исследования представлены на рис. 3.

| Признак x | Признак y |
|-----------|-----------|
| 15,67 | 4,48 |
| 17,32 | 4,73 |
| 18,31 | 4,88 |
| 21,935 | 5,932 |
| 54,1 | 13,522 |

Рис. 3 – результаты прогнозирования признака летательного аппарата

За исходные данные были взяты значения длины (признак x) воздушного объекта одного кластера (кластер 0, рис. 2) и его высоты (признак y). Из рисунка видно, что вычисленное значение высоты летательного аппарата (13,52 м) не сильно расходится с реальным значением, которое можно встретить в специализированных справочниках (13,1 м).

Идея данного метода состоит в том, что для того, чтобы найти признак интересующего нас воздушного объекта, мы выделяем признаки других и, с помощью линейной регрессии, находим значение признака интересующего нас летательного аппарата.

Перед проведением прогнозирования обучающая выборка воздушных объектов была разбита на кластеры. Предполагается, что внутрикластерное прогнозирование даст более точный результат, как если бы мы использовали признаки всей обучающей выборки. Классификация воздушных объектов очень обширна, и брать для расчетов значений признаков, допустим, крупногабаритной авиации, значения признаков вертолётов представляется делом малоперспективным, и ведущим к ошибочным расчётам.

Данная методика требует дальнейшего изучения и доработок, но уже сейчас можно с уверенностью сказать, что прогнозирование признаков воздушного объекта с помощью признаков других воздушных объектов одной группы существенно повышает достоверность информации, и решает проблему её неполноты, если таковая имеется.

Перспектива вышеизложенной методики видится в том, чтобы увеличить количество воздушных объектов в обучающей выборке, а также и количество признаков, которые участвуют в кластеризации и прогнозировании. Увеличение количества воздушных объектов и их признаков позволит более точно определить кластеры, по которым будут распределены летательные аппараты из обучающей выборки, что позволит применить в прогнозировании значения признаков, которые наиболее соответствуют значению признака интересующего нас воздушного объекта.

Список литературы / References

1. Deductor. Руководство по алгоритмам. Версия 5.2.0. 1995-2010 Компания BaseGroupTM Labs www.basegroup.ru - 38 с.
2. Антропов В. В. Алгоритм вторичной обработки информации при траекторном распознавании. / Антропов В. В., Мазиков Е. Б. // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. 11 декабря 2016 г. / Интерактивплюс. Центр Научного Сотрудничества. - Чебоксары, 2016. - с. 13-21.
3. Антропов В. В. Методика определения типа летательного аппарата. / Антропов В. В., Мазиков Е. Б. // Международный научно-исследовательский журнал. - 2016. - №01. - С. 51-54.
4. Антропов В. В. Применение алгоритмов кластеризации k-means и g-means в задачах распознавания воздушных объектов / В. В. Антропов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - №07. - С. 6-9.
5. Антропов В. В. Универсальность методов комплексной оценки параметров. / Антропов В. В., Бугаев И. В. // Научные исследования: от теории к практике. Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. 7 июня 2016 г. Чебоксары / Интерактивплюс. Центр Научного Сотрудничества. - Чебоксары, 2016. - с. 212-215.
6. Бонгард М.М. Проблема узнавания / М. М. Борнгард. - М.: Наука, 1967. - 321 с.
7. Лебедев В. В. Информационные технологии бизнес-аналитики. Система подготовки принятия решения Deductor: учеб. пособие. Кафедра информационных технологий в бизнесе / В. В. Лебедев, А. И. Дерябин. - НИУ ВШЭ ПФБ 2011. - 190 с.
8. Пивкин В.Я. Нечеткие множества в системах управления. / В. Я. Пивкин, Е. П. Бакулин, Д. И. Кореньков; под ред. Ю. Н. Золотухина - М. 2002. - 39 с.
9. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен. - М.: Мир, 1992. - 240 с.
10. Яковлев С.С. Система распознавания движущихся объектов на базе искусственных нейронных сетей / С. С. Яковлев. - Минск, 2004. - 230-234 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Deductor. Rukovodstvo po algoritmam. Versiya 5.2.0. [Deductor. Algorithm guide. Version 5.2.0]. 1995-2010 BaseGroupTM Labs Company, 2013 - p. 38.
2. Antropov V. V. Algorithm vtornichnoj obrabotki informacii pri traektornom raspoznavanii. [Algorithm of secondary information processing in trajectory recognition] / Antropov V. V., Mazakov E. B. // Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendencii i perspektivy razvitiya. Materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 11 dekabrya 2016 g. [Science, education, society: trends and development prospects. Materials of the III International Scientific and Practical Conference 11 December 2016] Cheboksary / Interaktivpljus. Centr nauchnogo sotrudnichestva [InteractivePlus. Center for Scientific Cooperation]. - Cheboksary, 2016. - pp. 13-21 [in Russian]

3. Antropov V. V. Metodika opredelenija tipa letatel'nogo apparata [Method for determining aircraft type] / Antropov V. V., Mazakov E. B. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. [International Research Journal] 2016. - №01. - P. 51-54 [in Russian]
4. Antropov V. V. Primenenie algoritmov klasterizacii k-means i g-means v zadachah raspoznavanija vozdušnyh obektov. [Application of k-means and g-means clustering algorithms in problems of air object recognition] / V. V. Antropov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. [International Research Journal] - 2017. - №07. - P. 6-9. [in Russian]
5. Antopov V. V. Universal'nost' metodov kompleksnoj ocenki parametrov. [The universality of the methods of complex estimation of parameters] / Antropov V. V., Bugaev I. V. // Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike. Materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 7 ijunja 2016 g. [Scientific research: from theory to practice. Materials VIII International Scientific and Practical Conference 7 June 2016] Cheboksary / Interaktivplus. Centr nauchnogo sotrudnichestva [InteractivePlus. Center for Scientific Cooperation]. - Cheboksary, 2016. - pp. 212-215 [in Russian]
6. Bongard M. M. Problema uznaniya [The problem of recognition] / M. M. Bongard. - M.: Nauka, 1967. - 321 p. [in Russian]
7. Lebedev V. V. Informacionnye tehnologii biznes-analitiki. Sistema podgotovki prinjatija reshenija Deductor: ucheb. posobie. Kafedra informacionnyh tehnologij v biznese [Information technology business intelligence. Decision making system Deductor: tutorial. Department of Information Technologies] / V. V. Lebedev, A. I. Deryabin - NIU VSHE PFb, 2011. -190 p. [in Russian]
8. Pivkin V.Y. Nechedkie mnozhestva v sistemah upravlenija [Fuzzy sets in management systems] / Pivkin V.Y., Bakunin E.P, Korenjkov D.I.; edited by J. N. Zolotuhina - M.: Mir, 2002. - 39 p. [in Russian]
9. Yakovlev S.S. Sistema raspoznavanija dvizhushih obektov na baze isskustvennyh nejronnyh setej [Recognition system of moving objects based on artificial neural networks] / S. S. Yakovlev. - Minsk, 2004. - 230-234 p. [in Russian]
10. Wosserman F. Nejrokomp'yuternaja tehnika: teorija i praktika [Neural Computing. Theory and Practice] / F. Wosserman M.: Mir, 1992. - 240 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.092>

Афанасьев А. П.

Кандидат технических наук,

Приамурский государственный университет имени «Шолом-Алейхема» г. Биробиджан.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГРАММ ВОРОНОГО ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ИХ ЗОН ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы учета неоднородности плотности нагрузки при определении параметров элементов городских систем электроснабжения. На сравнительном примере показано, что учет неоднородности плотности нагрузки позволяет более точно определить значения этих параметров. Для определения оптимального местоположения трансформаторных подстанций и их зон ответственности предлагается использовать мультипликативные взвешенные диаграммы Вороного. Автором показано, что распределение потребителей по полигонам взвешенных диаграмм Вороного, в силовом центре которых находятся трансформаторные подстанции, приводит к уменьшению неравномерности плотности потребительской нагрузки в соседствующих полигонах диаграммы, и, как следствие, уменьшению потерь электрической энергии при потоках мощности между соседними полигонами.

Ключевые слова: система электроснабжения, городская распределительная сеть, диаграмма Вороного, местоположение трансформаторной подстанции, оптимизация параметров сетей электроснабжения.

Afanasiev A. P.

PhD in Engineering,

SHOLEM ALEICHEM AMUR STATE UNIVERSITY in Birobidzhan.

APPLICATION OF VORONOI DIAGRAMS IN DETERMINATION OF OPTIMAL LOCATION OF TRANSFORMER SUBSTATIONS AND THEIR ZONES OF RESPONSIBILITY

Abstract

The paper considers the issues of accounting for the heterogeneity of the load density in determining the parameters of the elements of urban power supply systems. The comparative example shows that considering the inhomogeneity of the load density allows us to determine more precisely the values of these parameters. In order to determine the optimal location of transformer substations and their areas of responsibility, it is suggested to use Voronoi multiplicative weighted diagrams. The author shows that the distribution of consumers along the polygons of the Voronoi weighted diagrams, in the power center of which the transformer substations are located, leads to a decrease in the unevenness of the density of the consumer load in the neighboring polygons of the diagram, and, as a consequence, to the reduction of electric energy losses during power transfers between neighboring polygons.

Keywords: power supply system, city distribution network, Voronoi diagram, location of transformer substation, optimization of parameters of power supply networks.

Введение

Большинство действующих в настоящее время методов определения параметров элементов проектируемых и реконструируемых сетей электроснабжения исходят из предположения о равномерной плотности нагрузки в

рассматриваемом регионе [1, С. 21].

Так, например, согласно [2, С. 858], мощность городских трансформаторных подстанций – S_{TS} и число линий напряжением 0,4 кВ – N_{TS} , связаны с плотностью потребительской нагрузки – $\sigma(x, y)$ эмпирическими соотношениями:

$$S_{TS} = 1.45 \cdot \sqrt[3]{\sigma^2}; \quad (1)$$

$$N_{TS} = 1.65 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{\sigma^2}. \quad (2)$$

Данный подход не учитывает естественную неравномерность распределения потребителей электрической энергии, связанную как с географическим местоположением региона, так и особенности энергопотребления обусловленные промышленно-экономическим развитием данной местности.

С помощью математических моделей, в которых плотность нагрузки является постоянной величиной, решаются задачи проектирования: расчет эквивалентного радиуса зоны действия трансформаторных подстанций и определение локальных координат этой подстанции.

В реальности однородность энергопотребления и, соответственно, равномерность плотности потребительской нагрузки практически не встречается.

На рис.1 представлено распределение абсолютных значений плотности нагрузки по пространственным координатам, полученное для города с низкоэтажной застройкой.

Данное изображение было получено с помощью программы «Определение зон ответственности трансформаторных подстанций на основе диаграмм Вороного с использованием ГИС-технологий» [3].

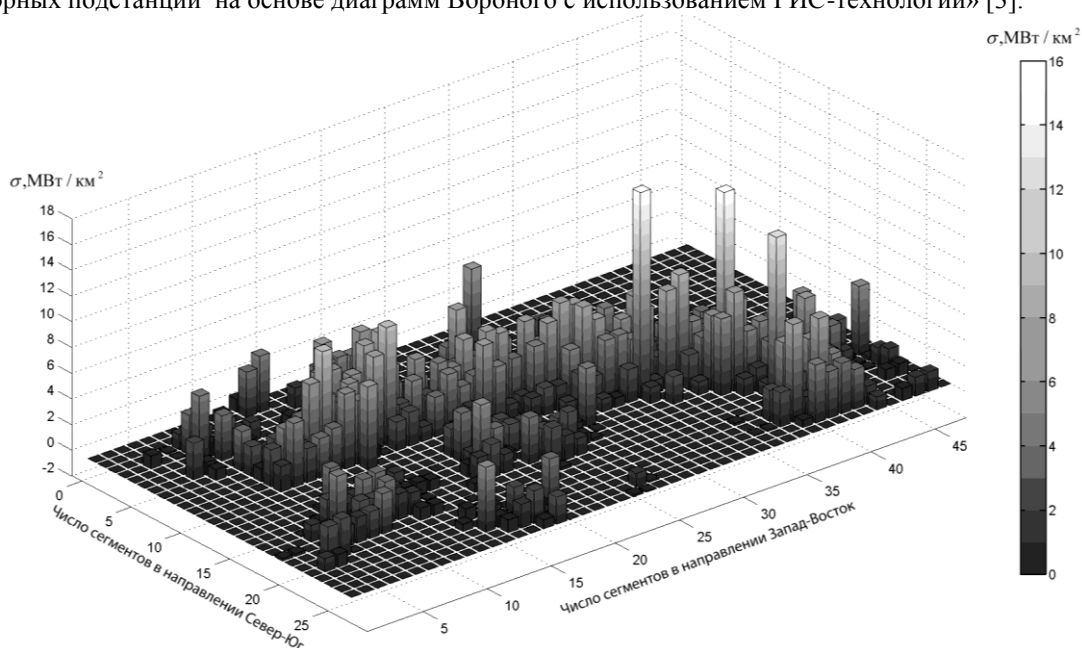


Рис. 1 – Абсолютные значения плотности нагрузки (МВт/км²)

Как видно из изображения плотность нагрузки $\sigma(x, y)$ не является однородной величиной, как по пространственным координатам, так и в абсолютных значениях.

Более того, в работе [1, С. 24] автор показывает, что плотность нагрузки естественным образом коррелирует с пространственно-топологической структурой города, населенного пункта.

В [4] предлагается использовать аппарат цифровой обработки изображений для анализа карт плотности нагрузки их классификации и, соответственно, определения параметров элементов проектируемых сетей [5].

На сегодняшний день зона действия трансформаторной подстанции определяется исходя из предположения о постоянстве плотности нагрузки $\sigma(x, y)$ и расположении потребителей электрической энергии в узлах двумерной пространственной квадратной сетки, как это представлено на рис. 2.

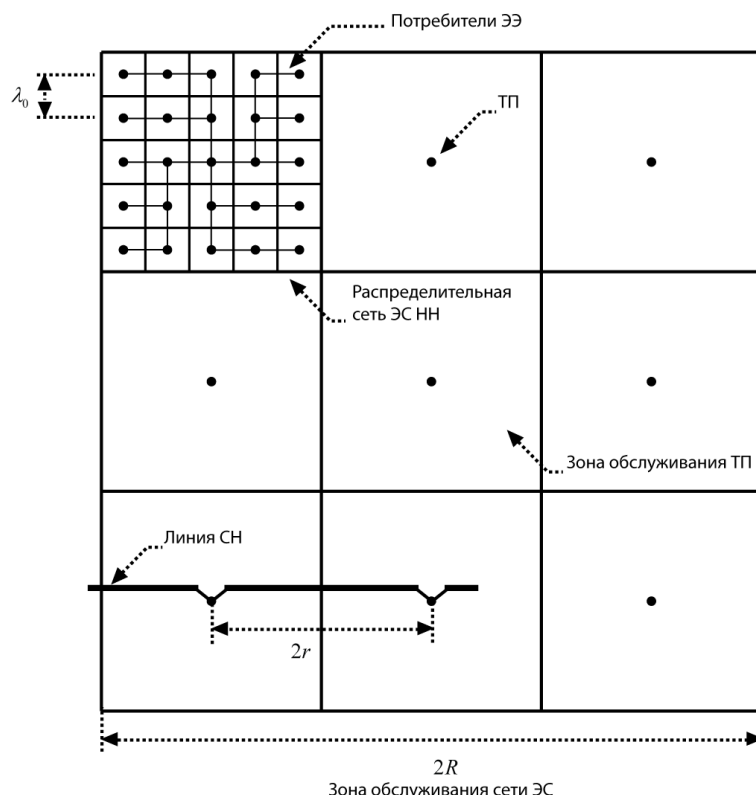


Рис. 2 – Модель расположения потребителей электрической энергии в узлах квадратной сетки

Данная модель позволяет получить соотношения для оптимального радиуса обслуживания трансформаторной подстанции (3) и оптимального числа подстанций (4). В частности в [6] были определены следующие соотношения:

$$R_{opt} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot C_{TS} \cdot j_{ec} \cdot \cos \varphi \cdot c_{TS}}{k_{br} \cdot \sigma \cdot (b \cdot c_{0.38} + 3 \cdot j_{ec}^2 \cdot \rho \cdot c \cdot \tau \cdot 10^3)}}; \quad (3)$$

$$N_{TSopt} = Z \cdot \left[\frac{\lambda_m \cdot k_{br} \cdot p_0 \cdot (b \cdot c_{0.38} + \sqrt{3} \cdot j_{ec}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot 10^{-3})^2}{16 \cdot c_{TS} \cdot C_{TS} \cdot U \cdot j_{ec}^2 \cdot \cos \varphi} \right]^{2/3}. \quad (4)$$

где:

λ_m - среднее расстояние между домами (км);

p_0 - удельная нагрузка на один дом (кВт/дом);

k_{br} - коэффициент разветвленности сети;

b - коэффициент переменной составляющей стоимости линии в сетях 0.38 кВ (руб./км · мм²);

j - экономическая плотность тока (А/мм²);

ρ - удельное сопротивление проводника постоянному току (Ом · мм²/км);

τ - годовое число часов максимальных потерь (ч/год);

C_{ls} - себестоимость потерь ЭЭ в сети 0.38 кВ (руб./кВт · ч);

C_{TS} - стоимость ТП (руб);

C_{TS} - ежегодные отчисления от стоимости ТП.

Использование данных соотношений на начальном этапе проектирования электрической сети встречает определенные трудности, так как необходим полный набор статистических данных по потребителям.

В настоящее время, кроме представленной модели, широко используется модель с гексагональной топологией электрических сетей [7]. Имея преимущество перед моделью с потребителями электрической энергии, расположенными в узлах квадратной сетки, тем не менее, и эта модель не учитывает неоднородность плотности нагрузки.

Модель диаграмм Вороного

Учет неоднородности плотности нагрузки необходим по нескольким причинам: во-первых, данный учет позволяет увидеть реальную картину энергопотребления в исследуемом регионе на текущий момент, например в период зимнего максимума нагрузок; во-вторых, появляется возможность проанализировать потери, возникающие в результате перетоков электрической энергии между областями с различными плотностями нагрузок; в-третьих, определить координаты центров потребления наиболее энергоемких областей и выполнить разбиение территории региона на зоны ответственности трансформаторных подстанций таким образом, чтобы нивелировать разницу между плотностями нагрузок соседних зон, что приведет к уменьшению потерь обозначенных во втором пункте.

В качестве математического инструментария для осуществления возможности учета неоднородности плотности нагрузки предлагается использовать аппарат компьютерной геометрии, в частности для определения зон ответственности трансформаторных подстанций целесообразно применить мультипликативные взвешенные диаграммы Вороного [8].

Математическое описание и процедуру построения диаграмм Вороного можно найти в [9, С. 251].

Для мультипликативной взвешенной диаграммы Вороного в качестве параметра дистанции (в Евклидовой метрике) между центром диаграммы и произвольной точкой применяется взвешенная дистанция – $d_{mv}(p_x, p_y)$, которая определяется согласно выражению:

$$d_{mv}(p, p_i) = \frac{\|\vec{x} - \vec{x}_i\|}{w_i}, \quad (5)$$

где w_i – так называемый вес, параметр, характеризующий мощность источника. Если мощности каждого источника равны, то и равны веса – $w_i = w_j$, в результате имеем обычную диаграмму Вороного.

В качестве весового коэффициента w_i в (5) используется относительная плотность нагрузки:

$$w_i = (\sigma_i / \bar{\sigma})^{-1}, \quad (6)$$

здесь: $\sigma_i = S_i / A_i$ – плотность нагрузки i -того сегмента взвешенной диаграммы Вороного; $\bar{\sigma} = \sum_i S_i / A_{reg}$ –

средняя плотность нагрузки по рассматриваемой области.

Практическое применение модели диаграмм Вороного и анализ полученных результатов

Предлагаемый подход был апробирован на примере района города с низкоэтажной застройкой. На рис. 3 представлена сегментация района на взвешенные полигоны Вороного. Маркером звезды отмечены потенциальные места оптимального расположения городских трансформаторных подстанций.

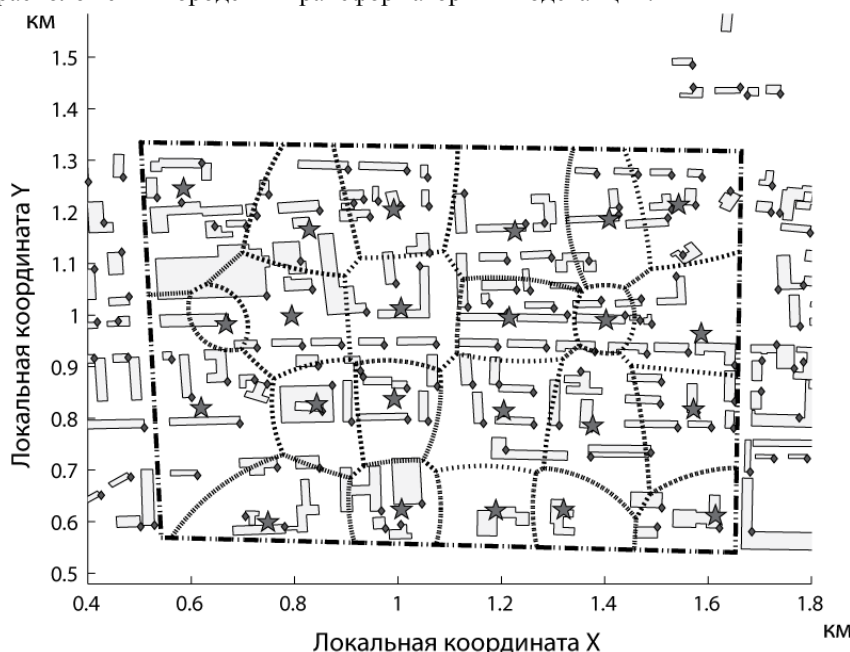


Рис. 3 – Сегментация района города на взвешенные полигоны диаграммы Вороного

На рис. 4 изображена карта плотности нагрузки с разбиением на взвешенные полигоны Вороного, где полигоны залиты различными оттенками серого цвета. Чем ближе оттенок к белому цвету, тем выше плотность нагрузки в соответствующем регионе.

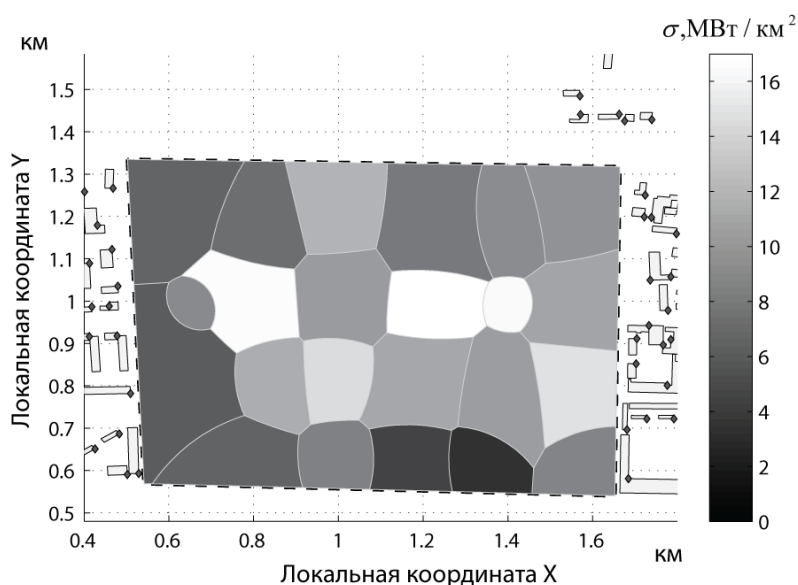


Рис. 4 – Сегментация района города на взвешенные полигоны диаграммы Вороного в градациях серого цвета

Процедура разбиения региона исследования и анализ карт плотности нагрузки были выполнены с помощью упоминавшейся выше программы [3].

В качестве анализируемых параметров были выбраны следующие:

1. Средняя плотность нагрузки по исследуемому региону – $\bar{\sigma} = 8.8 \text{ МВт/км}^2$;
2. Максимальная плотность нагрузки по исследуемому региону – $\sigma_{\max} = 17.0 \text{ МВт/км}^2$;
3. Минимальная плотность нагрузки по исследуемому региону – $\sigma_{\min} = 1.4 \text{ МВт/км}^2$;
4. Относительная энтропия – $E_r = 0.67$;
5. Коэффициент вариации плотности нагрузки – $V = 0.51$;
6. Коэффициент неоднородности плотности нагрузки – $k_H = 1.34$;
7. Эффективная плотность нагрузки $\sigma_{\text{eff}} = 11.7 \text{ МВт/км}^2$.

Полное описание данных параметров и способы их вычисления можно найти в [10, С. 81].

Под пунктом 5 значится коэффициент вариации плотности нагрузки – величина, характеризующая различие в значениях плотностей между сегментами взвешенной диаграммы Вороного. Чем больше различие, тем больше потери электрической энергии, связанных с перетоками.

Задача разбиения и заключается в том, чтобы сформировать области ответственности трансформаторных подстанций, путем перегруппировки потребителей электрической энергии, чтобы в целом уменьшить коэффициент вариации плотности нагрузки.

При разбиении исследуемого региона на квадратные сегменты, коэффициент вариации плотности нагрузки был равен $V = 0.58$.

При разбиении на гексагональные области, коэффициент вариации плотности нагрузки был равен $V = 0.56$.

Для диаграмм Вороного, как показано выше, этот параметр равен $V = 0.51$.

Заключение

Уменьшение коэффициента вариации является признаком того, что ТП исследуемого региона функционируют в относительно одинаковых энергетических режимах и соответственно, уменьшаются потери электрической энергии, вызванные неравномерностью нагрузки между соседними сегментами.

В [10, С. 124] показано, что для периода зимнего максимума нагрузок, перегруппировка потребителей в соответствии с предложенным алгоритмом, приводит к 15%-ному сокращению потерь электроэнергии, обусловленных неравномерностью нагрузок соседних сегментов диаграммы Вороного.

Список литературы / References

1. Hyvvarinen M. Electrical networks and economies of load density/ M. Hyvvarinen // Doctoral Dissertation. –Helsinki University of Technology, 2008. –158 p.
2. Герасимов В. Г. Электротехнический справочник: В 4 т. Т 4. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ: В. Г. Герасимова и др. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 964с.
3. Афанасьев А. П. Определение оптимальных технико-экономических параметров элементов сетей электроснабжения с использованием инструментария ГИС [Электронный ресурс]. / А. П. Афанасьев, М. А. Афанасьева // Современная техника и технологии. – 2014. –№ 4 URL: <http://technology.snauka.ru/2014/04/3405> (дата обращения: 24.11.2017).

- 4 М.С Гринкруг Анализ и возможная классификация неоднородностей плотности нагрузки с помощью аппарата двухмерного вейвлет преобразования. / Гринкруг М.С, Ткачева Ю.И, Афанасьев А.П.// Вестник ДВГСГА–2011.– №2(9) – С. 77–84.
5. Solomon C. Fundamentals of Digital Image Processing/ C. Solomon, T. Breckon –New York: John Wiley & Sons, Ltd, Publication 2011. – 406 p.
6. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. [Текст]: –М.: АООТ РОСЭП (Акционерное общество открытого типа по проектированию сетевых и энергетических объектов) :–2001 г.– 12 с.
7. Skobeleva N. Integrated Approach to the Formation of Service Areas for Urban Substations of Different Voltage/ N. Skobeleva, O. Borscevskis, S. Guseva //Journal of Energy and Power Engineering 6(2012) P.1358-1362
8. Афанасьев А.П. Применение алгоритмов компьютерной геометрии для анализа карт плотности нагрузки / А. П. Афанасьев, М. В. Афанасьева // Вестник «Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема», - 2015 – №2 (19)– С. 9-17.
9. Aurenhammer F. and Edelsbrunner H. An Optimal Algorithm for Constructing the Weighted Voronoi Diagram in the Plane. / F.Aurenhammer, H. Edelsbrunner // Pattern Recognition –1984: 17(2). P–251-257.
10. Афанасьев А. П. Параметрическая оптимизация городских систем электроснабжения на основе алгоритмов компьютерной геометрии с учетом неоднородности плотности нагрузки [Текст]: дис. ... канд. тех. наук.; 05.09.03: защищена 17.10.14: утв. 19.02.15/Афанасьев Александр Петрович.– Комсомольск на Амуре, 2014. – 185с.

Список литературы на английском языке / References in EnglishR

1. Hyvvarinen M. Electrical networks and economies of load density/ M. Hyvvarinen // Doctoral Dissertation. – Helsinki University of Technology, 2008. –158 p.
2. Gerasimov V. G. Elektrotehnicheskij spravochnik: V 4 Proizvodstvo, peredacha i raspredelenie jelektricheskoy jenergii [Electrotechnical reference: V 4 Production transmission and distribution of electrical energy] / under the society. ed. professors MEI: V.G. Gerasimov and others. – М.: Energoatomizdat,–2004. – 964p. [in Russian]
3. Afanasev A. P. Opredelenie optimal'nyh tehniko-jekonomicheskikh parametrov jelementov setej jelektrosnabzhenija s ispol'zovaniem instrumentarija GIS. [Determination of optimal technical and economic parameters of elements of power supply networks using GIS tools][Electronic resourse]/ A. P. Afanasev, M. A. Afanaseva // Modern technique and technology. - 2014.-№ 4 URL: <http://technology.snauka.ru/2014/04/3405> (accessed: 24.11.2017).] [in Russian]
- 4 М.С Гринкруг Analiz i vozmozhnaja klassifikacija neodnorodnostej plotnosti nagruzki s pomoshh'ju apparata dvuhmernogo vejvlet preobrazovanija. [Analysis and possible classification of load density inhomogeneities using a two-dimensional wavelet transformation.]/ Grinkrug M.S, Tkacheva Ju.I, Afanasev A.P.// Vestnik DVGSGA[Bulletin of the DVGSGA]–2011.–№2(9) – P. 77–84. [in Russian]
5. Solomon C. Fundamentals of Digital Image Processing/ C. Solomon, T. Breckon –New York: John Wiley & Sons, Ltd, Publication 2011. – 406 p.
6. Rukovodjashhie materialy po proektirovaniju jelektrosnabzhenija sel'skogo hozjajstva. [Guidance materials on the design of electricity supply to agriculture.]: –М.: АООТ РОСЭП :–2001.– 12 p. [in Russian]
7. Skobeleva N. Integrated Approach to the Formation of Service Areas for Urban Substations of Different Voltage/ N. Skobeleva, O. Borscevskis, S. Guseva //Journal of Energy and Power Engineering 6(2012) P.1358-1362
8. Afanasev A.P. Primenenie algoritmov komp'juternoj geometrii dlja analiza kart plotnosti nagruzki [Application of computer geometry algorithms for analyzing load density maps]/ A. P. Afanasev, M. V. Afanaseva // Vestnik «Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema [Bulletin "Priamur State University named after Sholom-Aleikhem"]. - 2015 – №2 (19)– P. 9-17. [in Russian]
9. Aurenhammer F. and Edelsbrunner H. An Optimal Algorithm for Constructing the Weighted Voronoi Diagram in the Plane. / F.Aurenhammer, H. Edelsbrunner // Pattern Recognition –1984: 17(2). P–251-257.
10. Afanasev A. P. Parametricheskaja optimizacija gorodskih sistem jelektrosnabzhenija na osnove algoritmov komp'juternoj geometrii s uchetom neodnorodnosti plotnosti nagruzki. [Parametric optimization of urban power supply systems based on computer geometry algorithms, taking into account the heterogeneity of the load density]: dis. ... of PhD in Engineering : 05.09.03 : defense of the thesis 17.10.14 : approved 19.02.15 /Afanasev Aleksandr Petrovich.– Komsomolsk na Amure, 2014. – 185p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.107>Бочкарева Е.А.¹, Христуло О.И.², Биглова А.Д.³, Грехова Ю.С.⁴¹Магистрант, ²доктор технических наук, профессор, ³магистрант, ⁴магистрант,
Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ)**ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ NDVI СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ****Аннотация**

Проведено исследование интерполирования временных рядов NDVI за 2016-2017гг. по набору космоснимков спутников Landsat 7,8. Преимущественно анализируется использование логистического уравнения и кубического сплайна при моделировании динамики развития растерия. Произведено сравнение применяемых в работе функций, которое показало, что наименьшая ошибка интерполяции наблюдается при использовании кубического сплайна. Построены соответствующие кривые по исходному облаку точек, которые наглядно демонстрируют поведение сезонного развития сельскохозяйственных культур в вегетационном периоде.

Ключевые слова: модель сезонного развития, NDVI, интерполяция облака точек, логистическое уравнение, кубический сплайн, интерполирование временных рядов.

Bochkareva E.A.¹, Christodulo O.I.², Biglova A.D.³, Grekhova Yu.S.⁴¹Master's degree student, ²PhD in Engineering, Professor, ³Master's degree student, ⁴Master's degree student
Ufa State Aviation Technical University (USATU)**INTERPOLATION OF NDVI TIME SERIES OF SEASONAL DEVELOPMENT OF PLANTS ON
AGRICULTURAL LANDS****Abstract**

The interpolation of NDVI time series for 2016-2017 was conducted on a set of satellite images from Landsat 7,8 satellites. Mainly, the use of the logistic equation and the cubic spline was analyzed in the simulation of the plant dynamics. A comparison of the functions used in the work was conducted, it showed that the smallest interpolation error takes place when a cubic spline is used. The corresponding curves for the initial cloud of points have been constructed, clearly showing the behavior of the seasonal development of crops in the growing season.

Keywords: seasonal development model, NDVI, point cloud interpolation, logistic equation, cubic spline, interpolation of time series.

В сельском хозяйстве все большее применение получают данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Это связано с тем, что спутниковая информация имеет ряд преимуществ по сравнению с наземной [5]. Прежде всего – это обзорность и оперативность при обработке любого массива данных по исследуемой территории [6], что особенно важно в отдельные периоды вегетации растения в связи с большой пространственной изменчивостью и быстрым изменением характеристик состояния посевов.

В представленном исследовании делается упор на решении задачи моделирования поведения сезонного развития сельскохозяйственных культур, который требует привлечения математического аппарата. А именно применение методов интерполяции для исходного облака точек значений NDVI в рассматриваемой области. В работе описываются две функции – логистическая и кубический сплайн (далее – «сплайн»), которые наиболее точно подходят под формализацию поставленной проблемы. Расчеты для моделей производились по тестовым снимкам.

Целью работы является выбор оптимальной математической модели, описывающей поведение сезонного развития сельскохозяйственных культур на основе индекса NDVI.

Постановка задачи: исходными данными для исследования является набор космоснимков спутников Landsat 7,8 за вегетационный период растения, по которому рассчитывается индекс NDVI. После чего формируется облако точек NDVI, которое интерполируется некоторыми функциональными зависимостями. Затем производится сравнение полученных моделей и выбирается наиболее подходящая кривая, с меньшей ошибкой интерполяции.

Возникает вопрос о выборе виде функции, описывающей поведение сезонного развития растения. Наиболее популярные функции, использующиеся для моделирования поведения сельскохозяйственных культур в вегетационном периоде, с целью предварительного сглаживания, фильтрации и аппроксимации временных рядов и отражающие динамику вегетационного индекса NDVI, следующие: логистическая [8,9,11]; асимметричная гауссова [10]; ряды Фурье [12]; полиномы (сплайн) [1], [7], [10].

Таким образом, в данной работе решается задача поиска вида функции $f(x_1, x_2, \dots, x_m, y)$, наилучшим образом описывающую заданную совокупность временных рядов NDVI, рассчитанных по космоснимкам за определенный временной период. Где $f(x_i, y)$ – модель временного ряда, x_i – вектор детерминированных параметров, $i=1, 2, \dots, m$.

Применение математической модели вместо исходного набора данных позволяет избавиться от зашумленности [1], вызванной такими особенностями как облачность, природно-климатические явления, температурные характеристики и др. На рис. 1 приведен пример зашумленного (исходного) временного ряда и его модели. По оси абсцисс отложена относительная дата, по оси ординат – значение NDVI.

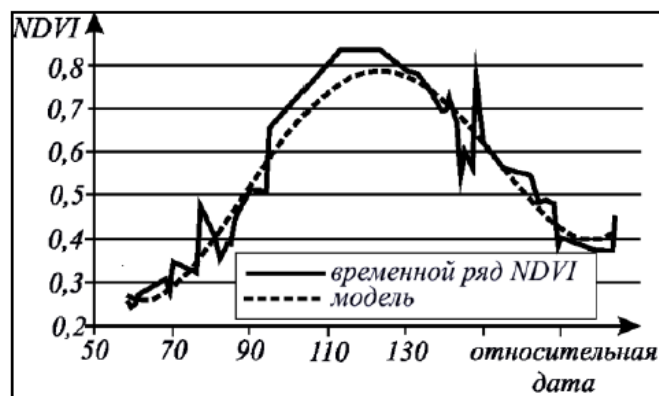


Рис. 1 – пример зашумлённого ряда NDVI

Рассмотрим подробнее логистическую функцию, как наиболее распространенную в литературе [9], применив параметризацию исходных данных для моделирования непосредственно сельскохозяйственных культур.

Основой для адаптации модели послужило исследование, описанное в [9]. Весенние и осенние отклонения были рассчитаны как разность между датой каждого наблюдения и датой, где логистическая кривая достигает соответствующего значения NDVI. Переходные даты были оценены как сумма долгосрочной средней переходной даты и полученного отклонения.

За основу математической модели была взята составная логистическая функция. Весенний вегетационный период был смоделирован как логистическая функция с четырьмя параметрами, согласно формуле (1).

$$S(t) = m_1 + \frac{m_2}{1 + e^{-m_3(t-m_4)}} \quad (1)$$

где t — время, выраженное в DOY;

m_1 — минимальное значение NDVI перед началом озеленения;

m_2 — максимальное значение NDVI;

m_3 — скорость изменения NDVI в середине логистической кривой;

m_4 — день года с максимальным изменением NDVI.

Летне-осенний вегетационный период был смоделирован как логистическая функция с пятью параметрами, согласно формуле (2).

$$A(t) = n_1 + \frac{n_2 t + n_3}{1 + e^{n_4(n_5 - t)}} \quad (2)$$

где n_1 — минимальное значение NDVI перед началом озеленения;

n_2, n_3 — параметры, отвечающие за траекторию логистической кривой NDVI на стыке летнего и осеннего периода;

n_4 — скорость изменения NDVI в середине логистической кривой;

n_5 — день года с максимальным изменением NDVI.

Параметры приведённых уравнений имеют выраженный физический смысл, связанный с особенностями сбора исходных данных ДЗЗ.

Применение адаптированной комплексной математической модели может предоставить ценную информацию касательно долгосрочной фенологии сельскохозяйственной растительности и выявления в ней пространственно-временных закономерностей.

Результатом применения данной модели является построение графика с двумя логистическими кривыми на основе интерполяции фактических точечных значений вегетационного индекса NDVI (рис. 2).

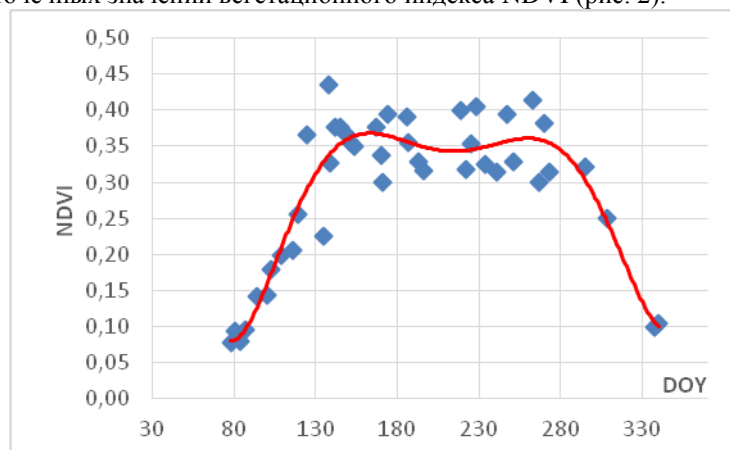


Рис. 2 – интерполяция логистической функцией

Возьмем за основу моделирования теперь другую функцию – кубический сплайн, так как именно данный вид наиболее часто применяется для интерполирования исходного облака точек. Функциональная зависимость вычисляется по формуле (3):

$$g(x) = \sum_{k=0}^M c_k x^k \quad (3)$$

где $c_k, k=0, \dots, M$ – параметры (коэффициенты разложения).

Предлагается интерполировать временной ряд сплайном 3-го порядка, представляющим собой линейную комбинацию M базисных функций [1].

Пусть на интервале наблюдения $[x_s, x_f]$ задана равномерная сетка узлов $[x_1=x_s, x_2, \dots, x_{M-1}, x_M=x_f]$ с шагом $h=(x_s - x_f) / (M - 1)$, $M \in N\{1, 2\}$. Базисная функция вычисляется по формуле (4):

$$u(x) = \begin{cases} \frac{3}{2}|x|^3 - \frac{5}{2}|x|^2 + 1, & 0 < |x| < 1 \\ -\frac{1}{2}|x|^3 + \frac{5}{2}|x|^2 - 4|x| + 2, & 1 < |x| < 2 \\ 0, & 2 < |x| \end{cases} \quad (4)$$

Функция аппроксимации в виде сплайна задается так:

$$g(x) = \sum_{k=1}^M c_k u\left(\frac{x - x_k}{h}\right) \quad (5)$$

где c_k – свободные параметры, коэффициенты разложения.

Функция (5) была предложена в [1] (функция интерполяции кубической свертки). На рис. 3 показан пример интерполяции временного ряда NDVI сплайном.

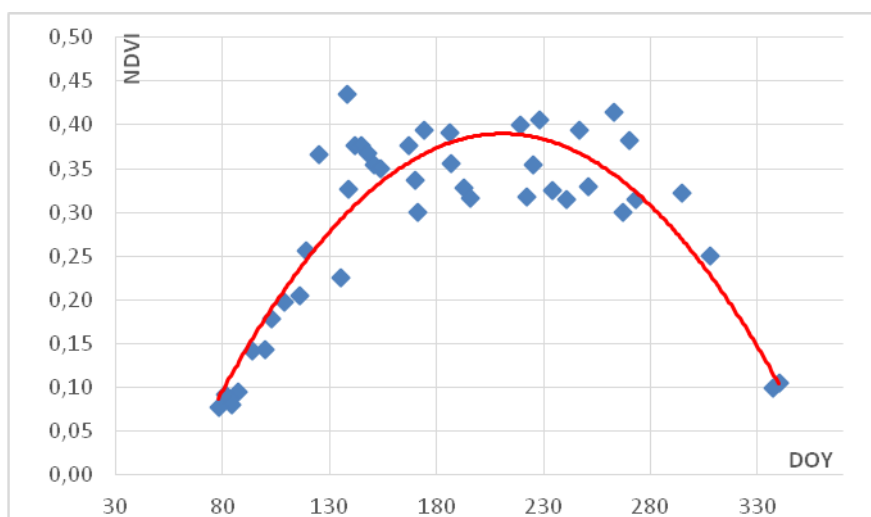


Рис. 3 – интерполяция кубическим сплайном

Интерполяционное моделирование является приближенным методом, что объясняется ошибками округлений при вычислениях значений интерполяционных функций. Чтобы определить функцию, которая наилучшим образом описывает поведение исходных временных рядов, были вычислены ошибки интерполяции. В таблице 1 приведены значения среднеквадратической и максимальной ошибок интерполяции для используемых функций.

Таблица 1 – Значения среднеквадратической и максимальной ошибок

| Модель | Число параметров | Среднеквадратическая ошибка | Максимальная ошибка |
|---------------|------------------|-----------------------------|---------------------|
| Логистическая | 5 | 0,0489 | 0,1324 |
| | 10 | 0,0254 | 0,1187 |
| Сплайн | 5 | 0,0377 | 0,1098 |
| | 10 | 0,0218 | 0,1009 |

По итогам вычислений получаем следующие результаты:

1. Наилучшие результаты по моделированию получились при использовании сплайна, что видно из таблицы 1.
2. Главным недостатком логистической функции является использование фиксированного количества параметров, что дает значительные ошибки интерполяции.
3. Построение математической модели дает возможность для дальнейшего прогнозирования поведения временных рядов.
4. Построенная модель временного ряда на основе сплайна наиболее соответствует реальному процессу по сравнению с логистической моделью.

В дальнейшем планируется написание модуля в qgis для автоматического расчета индекса NDVI на основе космоснимков и построения кривой для визуализации поведения растительности в исследуемой области.

Список литературы / References

1. Воробьева Н.С. Аппроксимация временных рядов NDVI в задаче раннего распознавания видов сельскохозяйственных культур по космическим снимкам / Н.С. Воробьева, А.В. Чернов // Сборник трудов III международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ – 2017). – Самара: Новая техника. – 2017. – С. 390–399.
2. Майорова В.И. Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съемки / В.И. Майорова, А.М. Банников, Д.А. Гришко, И.С. Жаренов, В.В. Леонов, А.Г. Топорков, А.А. Харлан // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – В. 07. – С. 199–228.
3. Найдина Т.А. Использование спутниковой информации в моделях биопродуктивности зерновых культур для расчета интенсивности фотосинтеза / Т.А. Найдина // Труды ИПГ. – 2011. – С. 189–194.
4. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие / О.С. Токарева. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 148 с.
5. Христоделу О.И. Оценка точности классификации алгоритмов, основанных на методах искусственного интеллекта для данных дистанционного зондирования территории Южного Урала / О.И. Христоделу, А.А. Махмутов, Д.И. Гатиатуллин, И.А. Мусин // Информационные технологии для интеллектуальной поддержки принятия решений: матер. 4-ой Международной научно-практической конференции. – Уфа. – 2016. – Т.1. – С. 19–24.
6. Христоделу О.И. Разработка алгоритма для определения незаконных вырубок на основе метода нейронной сети Хеминга / О.И. Христоделу, А.А. Махмутов, Т.В. Сазонова // Компьютерные науки и информационные технологии: матер. 18-ой Международной научно-практической конференции. – Прага. – 2016. – Т. 1. – С. 122–126.
7. Beck P.S.A. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes- a new method using MODIS NDVI / P.S.A.Beck, C.Atzberger, K.A.Hogda, B.Johansen, A.K. Skidmore // Remote Sensing of Environment. – 2006. – Vol. 100(3). – P. 321–334. doi: 10.1016/j.rse.2005.10.021.
8. Fischer A. A Model for the Seasonal Variations of Vegetation Indices in Coarse Resolution Data and Its Inversion to Extract Crop Parameters / A.Fischer // Remote Sensing of Environment. – 1994. – Vol. 48(2). – P. 220–230. doi: 10.1016/0034-4257(94)90143-0.
9. Melaas E.K., Friedl M.A., Zhu Z. Detecting interannual variation in deciduous broadleaf forest phenology using Landsat TM/ETM+ data // Remote Sensing of Environment. – 2013. – № 132. – P. 176–185.
10. Michishita R. Empirical comparison of noise reduction techniques for NDVI time-series based on a new measure / R. Michishita, J.Chen, B.Xu // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 91. – P. 17–28. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.01.003.
11. Ozdogan M. The spatial distribution of crop types from MODIS data: Temporal unmixing using Independent Component Analysis / M.Ozdogan // Remote Sensing of Environment. – 2010. – Vol. 114(6). – P. 1190–1204. doi: 10.1016/j.rse.2010.01.006.
12. Victoria C. Cropland area estimates using Modis NDVI time series in the state of Mato Grosso / D.C.Victoria, A.R.Paz, A.C.Coutinho, J.C.Brown // Brazil. Pesq. agropec. bras. – 2012. – Vol. 47(9). – P. 1270–1278. doi: 10.1590/S0100-204X2012000900012.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vorobeva N.S. Approksimatsiya vremennykh ryadov NDVI v zadache rannego raspoznavaniya vidov selskohozyaystvennykh kultur po kosmicheskim snimkam [Approximation of time series NDVI in the problem of early recognition of species of crops by space images] / N.S. VorobYova, A.V. Chernov // Sbornik trudov III mezhdunarodnoy konferentsii i molodezhnoy shkolyi «Informatsionnyie tehnologii i nanotekhnologii» (ITNT-2017) [Collection of Proceedings of the III International Conference and the Youth School "Information Technologies and Nanotechnologies" (ITNT-2017)]. – Samara: Novaya tehnika. – 2017. – P. 390–399. [in Russian]
2. Mayorova V.I. Kontrol sostoyaniya selskohozyaystvennykh poley na osnove prognozirovaniya dinamiki indeksa NDVI po dannym kosmicheskoy multispektralnoy i giperspektralnoy syomki [Monitoring of the state of agricultural fields on the basis of predicting the dynamics of the NDVI index from the data of cosmic multispectral and hyperspectral surveys] / V.I. Mayorova, A.M. Bannikov, D.A. Grishko, I.S. Zharenov, V.V. Leonov, A.G. Toporkov, A.A. Harlan // Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman [Science and Education: a scientific edition of the MSTU. N.E. Bauman]. – 2013. – B. 07. – P. 199–228. [in Russian]
3. Naydina T.A. Ispolzovanie sputnikovoy informatsii v modelyah bioproduktivnosti zernovykh kultur dlya rascheta intensivnosti fotosinteza [The use of satellite information in models of bioproductivity of grain crops to calculate the intensity of photosynthesis] / T.A. Naydina // Trudy IPG [Transactions of IPG]. – 2011. – P. 189–194. [in Russian]
4. Tokareva O.S. Obrabotka i interpretatsiya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli: uchebnoe posobie [Processing and interpretation of Earth remote sensing data: textbook] / O.S. Tokareva. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta [Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University], 2010. – 148p. [in Russian]
5. Hristodulo O.I. Otsenka tochnosti klassifikatsii algoritmov, osnovannykh na metodah iskusstvennogo intellekta dlya dannykh distantsionnogo zondirovaniya territorii Yuzhnogo Urala [Estimation of classification accuracy of algorithms based on artificial intelligence methods for remote sensing data of the Southern Urals] / O.I. Hristodulo, A.A. Mahmutov, D.I. Gatiatullin, I.A. Musin // Informatsionnyie tehnologii dlya intellektualnoy podderzhki prinyatiya resheniy: mater. 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsiia [Information technology for intellectual decision support: mater. 4th International Scientific and Practical Conference]. – Ufa. – 2016. – V.1. – P. 19–24. [in Russian]
6. Hristodulo O.I. Razrabotka algoritma dlya opredeleniya nezakonnykh vyirubok na osnove metoda neyronnoy seti Heminga [Development of an algorithm for determining illegal logging based on the Hamming neural network method] / O.I.

Hristodulo, A.A. Mahmutov, T.V. Sazonova // Kompyuternyye nauki i informatsionnyye tehnologii: mater. 18-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Computer Science and Information Technology: Mater. 18th International Scientific and Practical Conference]. – Praga. – 2016. – V. 1. – P. 122–126. [in Russian]

7. Beck P.S.A. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes- a new method using MODIS NDVI / P.S.A.Beck, C.Atzberger, K.A.Hogda, B.Johansen, A.K. Skidmore // Remote Sensing of Environment. – 2006. – Vol. 100(3). – P. 321–334. doi: 10.1016/j.rse.2005.10.021.

8. Fischer A. A Model for the Seasonal Variations of Vegetation Indices in Coarse Resolution Data and Its Inversion to Extract Crop Parameters / A.Fischer // Remote Sensing of Environment. – 1994. – Vol. 48(2). – P. 220–230. doi: 10.1016/0034-4257(94)90143-0.

9. Melaas E.K., Friedl M.A., Zhu Z. Detecting interannual variation in deciduous broadleaf forest phenology using Landsat TM/ETM+ data // Remote Sensing of Environment. – 2013. – № 132. – P. 176–185.

10. Michishita R. Empirical comparison of noise reduction techniques for NDVI time-series based on a new measure / R. Michishita, J.Chen, B.Xu // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 91. – P. 17–28. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.01.003.

11. Ozdogan M. The spatial distribution of crop types from MODIS data: Temporal unmixing using Independent Component Analysis / M.Ozdogan // Remote Sensing of Environment. – 2010. – Vol. 114(6). – P. 1190–1204. doi: 10.1016/j.rse.2010.01.006.

12. Victoria C. Cropland area estimates using Modis NDVI time series in the state of Mato Grosso / D.C.Victoria, A.R.Paz, A.C.Coutinho, J.C.Brown // Brazil. Pesq. agropec. bras. – 2012. – Vol. 47(9). – P. 1270–1278. doi: 10.1590/S0100-204X2012000900012.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.081>

Буклагин Д.С.¹, Шмелев С.А.²

¹ORCID: 0000-0001-5290-70-75, доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ «Росинформагротех»

²ORCID: 0000-0002-3112-6613, кандидат технических наук,
АО «КБТочмаш им. А.Э. Нудельмана»

ТРЕХМЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация

Обеспечение точности, скорости и удобства измерений деталей часто является проблемой промышленного производства, так как требует применения широкого спектра, как стандартных, так и не стандартных средств измерений с различной точностью и приспособленностью к различным видам измерений. В данной статье рассмотрены существующие средства создания трёхмерных измерительных систем, возможность их применения взамен стандартизованных механических средств измерений, позволяющих решать проблемы скорости, точности и удобства измерений в различных областях промышленного производства.

Ключевые слова: система, точность, деталь, 3D измерения, машинное зрение, оптические измерения.

Buklagin D.S.¹, Shmelev S.A.²

¹ORCID: 0000-0001-5290-70-75, PhD in Engineering, Professor,
FSBSI Rosinformagrotech

²ORCID: 0000-0002-3112-6613, PhD in Engineering,
«KBTochmash named after A.E. Nudelman» JSC

THREE-DIMENSIONAL MEASUREMENT SYSTEMS AND POSSIBILITY OF THEIR APPLICATION IN INDUSTRY

Abstract

Ensuring the accuracy, speed and convenience of measurements of parts is often an industrial production problem, since it requires a wide range of standard and non-standard measuring instruments with different accuracy and adaptability to different types of measurements. This article considers the existing means of creating three-dimensional measuring systems, the possibility of their use instead of standardized mechanical measuring instruments, solving the problems of speed, accuracy and convenience of measurements in various areas of industrial production.

Keywords: system, accuracy, detail, 3D measurements, machine vision, optical measurements.

Выполнение требований к производству деталей необходимого качества в современной промышленности тесно связаны с проблемой применения средств измерений определенной точности и скоростью выполнения самих измерений. Кроме того, при производстве сложных деталей существует множество труднодоступных мест, для измерения которых приходится применять большое число нестандартных средств измерений, например, штангенинструментов (рис. 1).

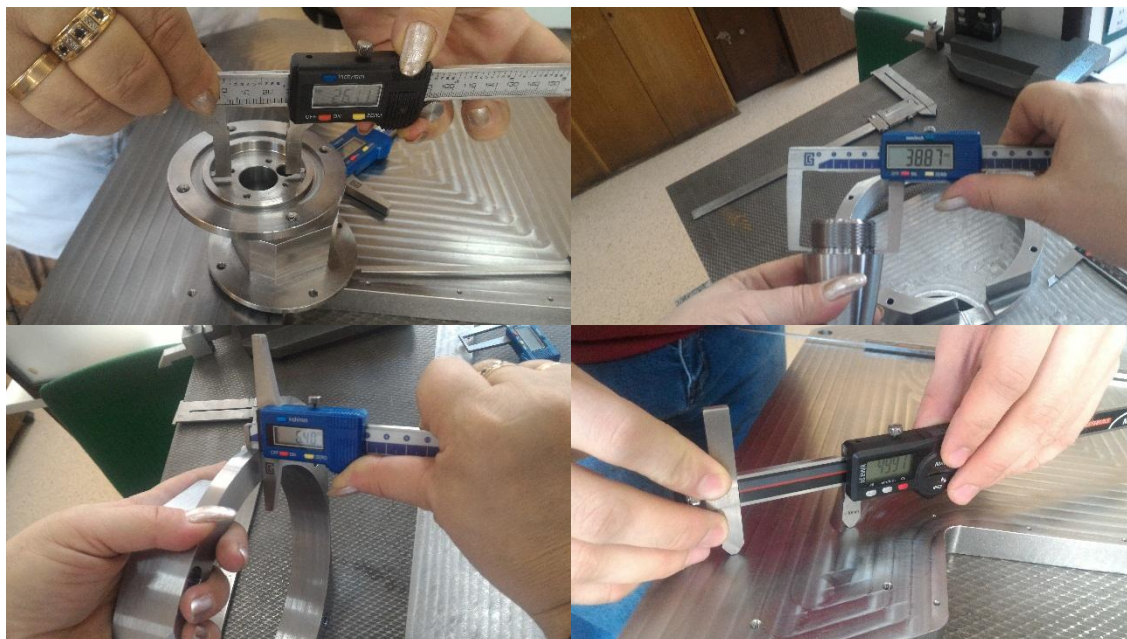


Рис. 1 – Пример нестандартных штангенинструментов и их применение

Решение этих проблем требует от метрологической службы предприятия искать способы эффективного применения 3D измерительных систем для сравнения результатов измерений с заданной идеальной 3D моделью детали. В данной статье рассматриваются существующие средства измерений, создающие измеренные 3D модели и сравнивающие их с идеальными, позволяющие решить проблему скорости и точности измерений.

Задача создания 3D измерительных систем связана с попытками разработки и использования машинного зрения. Можно сказать, что общий принцип работы систем машинного зрения заключается в том, что сигнал, полученный от аналоговой видеокамеры переводится в цифровую форму, которая представляет собой набор пикселей (точек) по перепадам яркости, которых компьютер вычисляет границы измеряемого объекта на плоскости. Намного труднее определять высоту, а также координаты нахождения каждой точки в трёхмерном моделируемом пространстве. Для определения высоты, а также других размеров, в большинстве оптических приборов используется метод оптической триангуляции. Применение метода триангуляции позволяет достигать точности в 0,001 доли измеряемого расстояния [1], [2].

Схема прибора использующего метод триангуляции (рис. 2) состоит из трёх частей: излучатель 1, измеряемый объект 2 и приёмник 3.

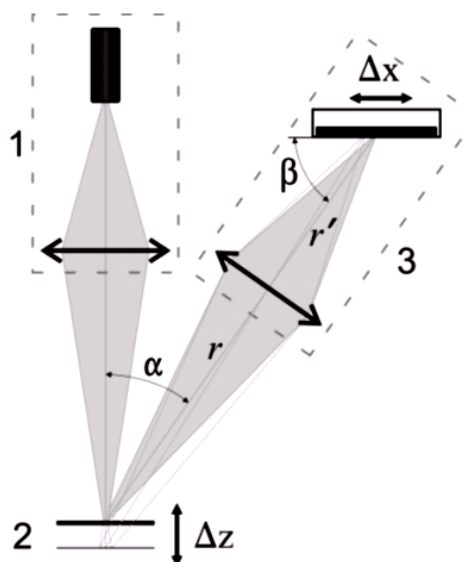


Рис. 2 – Схема прибора использующего метод триангуляции

Излучатель 1 формирует изображение светового пятна на измеряемом объекте 2. Затем рассеянный измеряемым объектом световой луч попадает в фотоприёмник 3. Фотоприёмник фиксирует изображение рассеянного светового луча. Перемещение измеряемого объекта Δz , создаёт смещение светового луча в фотоприёмнике Δx . Зависимость перемещения измеряемого объекта Δz , от смещения светового луча Δx , имеет следующий вид:

$$\Delta z = r \cdot \sin \varphi / \sin(\alpha - \varphi), \quad (1)$$

где $\varphi = \arctg(A \cdot \Delta x / (1 + B \cdot \Delta x))$, $A = \sin \beta / r'$, $B = -\cos \beta / r'$, r и r' – соответственно расстояния от измеряемого объекта 2 до объектива фотоприёмника 3, и от объектива до фотоприёмника [3].

В настоящее время 3D измерительные системы производятся многими российскими и зарубежными фирмами. Их

применение позволяет в различной степени решать проблемы точности, удобства и скорости измерений. В число наиболее известных мировых производителей входят такие фирмы как: SICK (Германия), Cognex (США).

Решения фирмы SICK широко применяются в различных организациях, как при считывании штрих кодов, так и в автомобильной промышленности при идентификации деталей и определения отклонений от их формы. Рассмотрим некоторые интересные решения и их характеристики.

В качестве одного из решений поставленных задач фирма SICK предлагает камеры Ranger и Ruler (табл. 1, рис. 3) для измерений трехмерных параметров в скоростном режиме. Камеры формируют серию профилей измеряемого объекта, а трёхмерное изображение обеспечивает данные о высоте и форме объекта. Камеры Ranger и Ruler являются приборами со схожими характеристиками. Однако, камеры Ranger могут иметь различную комплектацию и имеют возможность подстраиваться под выполнения определенных задач непосредственно на месте, в то время как камеры Ruler настраиваются самой фирмой-изготовителем. Всё это ведет к различным положительным и отрицательным последствиям. С одной стороны, устанавливая камеры Ranger можно выбрать только часть необходимых опций и более точно их настроить непосредственно на месте, но для правильной и точной их установки и наладки нужен высоко квалифицированный персонал, содержание которого требует значительных затрат.

Таблица 1 – Техническая характеристика камер серии Ruler E

| Показатель | Ruler E1200 | Ruler E600 |
|----------------------------|---|------------|
| Макс. ширина профиля | 1024 | 1536 |
| 3D разрешение по высоте | 0,4 мм | 0,2 мм |
| Пример поля зрения (H x W) | 250x1200 мм | 250x600 мм |
| Производительность | 10000 3D профилей в секунду | |
| Размеры (L x H x D) | 420 x 163 x 105 мм | |
| Степень защиты | IP 65 | |
| Класс лазера | 2М/2 (опция 3В) | |
| Опции | Измерение рассеяния, 3В лазер, подогрев | |



Рис. 3 – Внешний вид камер Ranger и Ruler

Изображение с нескольких подобных камер фирмы SICK можно объединять в одну 3D модель при помощи Sensor Integration Machine (рис. 4), что при правильной их расстановке позволит измерять объект полностью, со всех сторон.



Рис. 4 – Внешний вид блока объединения сигналов датчиков Sensor Integration Machine (SIM)

Исходя из данных (табл. 1), можно сделать заключение о том, что данные решения действительно предназначены для быстрых измерений и способны производить до 10000 профилей в секунду, при этом точность данных измерений достигает десятых долей миллиметра [4, С. 5-6], [5, С. 12-19], [6, С. 10-12], [7, С. 105-121].

Кроме представленных в статье решений, фирма SICK предлагает датчики TriSpector1000 (табл. 2, рис. 5) для единичных высокоточных 3D измерений. Данные датчики нельзя подключать в единую информационную систему, но они хорошо зарекомендовали себя для быстрых измерений в потоке [8, С. 10-11].

Таблица 2 – Техническая характеристика датчиков серии TriSpector

| Показатель | TriSpector1008 | TriSpector1030 | TriSpector1060 |
|---|-----------------------------------|----------------|----------------|
| Рабочая дистанция, мм | 56-116 | 141-541 | 321-1121 |
| Пример поля зрения, мм | 65x15 | 270x100 | 540x200 |
| Лазер | 2М, видимый красный свет (660 нм) | | |
| Производительность | 2000 3D-профилей/с | | |
| Разрешение 3D-профиля | 790 точек (пикселей) | | |
| Ширина при минимальной рабочей дистанции, мм | 40 | 90 | 180 |
| Ширина при максимальной рабочей дистанции, мм | 75 | 330 | 660 |
| Максимальный диапазон высоты, мм | 60 | 400 | 800 |
| Разрешение по высоте, мкм | 20-50 | 40-280 | 80-670 |



Рис. 5 – Внешний вид датчика TriSpector1000

Исходя из данных (табл. 2) можно сделать вывод, что производительность данных приборов во много раз ниже чем у камер Ranger и Ruler, что в свою очередь свидетельствует о возможности измерений намного меньших размеров. Однако, точности датчиков TriSpector1000 достигает уже сотых долей миллиметра, что в свою очередь соответствует точности штангенприборов и позволяет избавиться от их применения на производстве. Таким образом, фирма SICK представляет законченные решения позволяющее контролировать качество деталей в потоке.

Кроме уже названной фирмы SICK существуют и другие фирмы, зарекомендовавшие свои решения на мировом рынке. Одной из таких фирм является компания Cognex, которая предлагает и внедряет 3D сканеры DS1000 (табл. 3, рис. 6). Эти сканеры, как заявляет производитель, способны измерять изделия с микронной точностью [9], [10].

Таблица 3 – Техническая характеристика сканеров DS1000

| Показатель | DS925B | DS1050 | DS1101 | DS1300 |
|--|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Ближнее поле обзора (мм) | 23,4 | 43 | 64 | 90 |
| Дальнее поле обзора (мм) | 29,1 | 79 | 162 | 410 |
| Расстояние между инструментом и деталью (мм) | 53,5 | 87 | 135 | 180 |
| Диапазон измерения (мм) | 25 | 76 | 220 | 725 |
| Класс лазера | 2м | 2м | 2м | 2м |
| Разрешение X (мм) | 0,0183 - 0,0227 | 0,059 -0,090 | 0,079 -0,181 | 0,101 -0,457 |
| Разрешение Z (мм) | 0,002 | 0,004-0,014 | 0,010-0,052 | 0,016-0,265 |



Рис. 6 – Внешний вид сканеров DS1000

Как видно из представленных технических характеристик (табл. 3) сканеры DS1000 действительно обладают

точностью до 2 мкм для измерений деталей по высоте, однако точность измерений по ширине достигает сотых долей миллиметра (что по точности соответствует измерениям штангенинструментом), видимо это так же связано с разрешением оптической камеры и с алгоритмом распознавания границ на плоскости.

Кроме широко применяемых в мировой практике устройств фирм SICK (Германия), Cognex (США) есть и другие производители 3D измерительных устройств, заслуживающие не меньшего внимания, такие как: РИФТЭК (Беларусь), ПРИЗМА (Россия), ИНКОМ (Россия) и другие.

Рассмотрим подробнее один из сканеров фирмы РИФТЭК основанной в Белоруссии, имеющей также производство и в России. Лазерные сканеры серии РФ625 (табл.4, рис. 7) производят измерения 2D профилей и посредством перемещения детали производят измерения всей детали и построение 3D моделей [11, С. 1-8].

Таблица 4 – Основные технические характеристики сканеров серии РФ625

| Показатель | Значение |
|---|---|
| Быстродействие | 248 профилей/с в обычном режиме 491 профилей/с в режиме повышенной частоты |
| Максимальное быстродействие | 1875 профилей/с |
| Линейность (погрешность), Z ось (по высоте) | $\pm 0,1\%$ от диапазона ($\pm 0,05\%$ от диапазона для сканеров с диапазоном 17/6-7/8 мм) |
| Линейность (погрешность), X ось (по ширине) | $\pm 0,2\%$ от диапазона |
| Рабочий диапазон, Z ось | От 5 до 1400 мм |
| Рабочий диапазон, X ось | От 7 до 980 мм |

Если подсчитать погрешность сканеров серии РФ625 в соответствии с табл. 4 то получается, что точность измерения профиля (размер по высоте и ширине) для многих моделей данной серии сравнима с измеренной штангенинструментом. Однако, как в случаях со сканерами DS1000 и датчиками TriSpector1000, точность построения 3D модели будет сильно зависеть от равномерности поступательного движения измеряемой детали, её вибрации и самого алгоритма сложения профилей в единую 3D модель, а это уже не зависит от самих датчиков.



Рис. 7 – Внешний вид сканеров серии РФ625

В свою очередь все представленные в статье 3D устройства предоставляют предприятиям возможность 100% контроля каждой детали. В то время, как многие предприятия занимающиеся конвейерным производством могут позволить себе только контроль выборки, который не позволяет говорить о 100% контроле качества и в данном случае можно говорить о вероятности и статистических характеристиках распределения показателей качества изготавливаемой детали.

Таким образом, в настоящее время существует множество устройств, позволяющих решить значительный спектр задач, связанных с точностью, измерений, которая соответствует точности измерений штангенинструментом, но обеспечивает быстроту и удобство при массовом контроле деталей в промышленном производстве, позволяет решить множество других задач на основе совершенствования средств и алгоритмов распознавания при 3D измерениях.

Список литературы / References

1. Востропяттов Н. А. Принципы машинного зрения [электронный ресурс] // Реферат по читающим автоматам: <http://www.studfiles.ru/preview/356491/> (дата обращения 24.08.2017).
2. Метод триангуляции [электронный ресурс] // http://www.laserportal.ru/content_536 (дата обращения 24.08.2017).
3. Теория триангуляционного метода измерения [электронный ресурс] // <http://www.controlplast.ru/site/index.php?rproducts/klaser/teoria-triangulyaciya> (дата обращения 24.08.2017).
4. Лысенко О. Машинное зрение от SICK / IVP [электронный ресурс] // cyberleninka.ru: научная электронная библиотека «КиберЛенинка», Журнал «Компоненты и технологии». – 2007. – №1:

<https://cyberleninka.ru/article/v/mashinnoe-zrenie-ot-sick-ivp> (дата обращения 24.08.2017).

5. Обзор продукции. Машинное зрение. Новое измерение в машинном зрении [электронный ресурс] // <http://www.energoprime.ru/catalog-pdf/SICK/Машинное-зрение.pdf> (дата обращения 24.08.2017).

6. Product overview. Vision a new dimension in vision. 2D vision, 3D vision, Sensor Integration Machine [электронный ресурс] // https://www.sick.com/media/docs/3/83/883/Product_overview_Vision_en_IM0069883.PDF (дата обращения 27.09.2017).

7. Product catalog 2014/2015. Vision. Vision sensors. Smart cameras. Hight-end cameras. [электронный ресурс] // https://www.sick.com/media/docs/2/02/302/Product_catalog_Vision_en_IM0050302.PDF (дата обращения 27.09.2017).

8. TriSpector1000. INTUITIVE 3D INSPECTION [электронный ресурс] // https://www.sick.com/media/docs/2/72/272/Product_information_TriSpector1000_Intiutive_3D_Inspection_en_IM0062272.PDF (дата обращения 24.08.2017).

1. DS1000 - интеллектуальные 3D сканеры [электронный ресурс] // <http://www.mallenom.ru/products/mashinnoe-zrenie/ds1000-3d-scanner/> (дата обращения 24.08.2017).

9. Cognex vision. Серия DS1000. Датчик перемещения 3D. Лазерная система определения профиля. [электронный ресурс] // [http://sensotek.ru/images/Cognex/pdf/DS1000%20Datasheet%20\(RUS\)%20\(1\).pdf](http://sensotek.ru/images/Cognex/pdf/DS1000%20Datasheet%20(RUS)%20(1).pdf) (дата обращения 27.09.2017).

10. RIFTEK. Лазерные сканеры. Серия РФ625. Руководство по эксплуатации. [электронный ресурс] // https://riftek.com/media/documents/rf625/manual/2D_Laser_Scanners_RF625_Series_rus.pdf (дата обращения 16.11.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vostropyatov N.A. Principy mashinnogo zreniya [Principles of machine vision] N.A. Vostropyatov // Referat po chitayuschim avtomatam [Essay on reading machines] [electronic resource] <http://www.studfiles.ru/preview/356491> (accessed 24.08.2017). [in Russian]

2. Metod triangulyacii [The triangulation method] // The free access [electronic resource] http://www.laserportal.ru/content_536 (accessed 24.08.2017). [in Russian]

3. Teoriya triangulyacionnogo metoda izmereniya [The theory triangulation method of measurement] // The free access [electronic resource] <http://www.controlplast.ru/site/index.php?r/products/klaser/teoria-triangulyacia> (accessed 24.08.2017). [in Russian]

4. Lysenko O. Mashinnoe zrenie ot SICK / IVP [Machine vision from SICK / IVP] O. Lysenko // cyberleninka.ru: nauchnaya elektronnyaya biblioteka «KiberLeninka», Zhurnal «Komponenty i tekhnologii» – 2007. - №1 [scientific digital library "Cyberleninka", The journal "components and technologies"] [electronic resource]. <https://cyberleninka.ru/article/v/mashinnoe-zrenie-ot-sick-ivp> [in Russian]

5. Obzor produkci. Mashinnoe zrenie. Novoe izmerenie v mashinnom zrenii [Product overview. Machine vision. The new dimension in machine vision] // The free access [electronic resource] <http://www.energoprime.ru/catalog-pdf/SICK/Машинное-зрение.pdf> (accessed 24.08.2017). [in Russian]

6. Product overview. Vision a new dimension in vision. 2D vision, 3D vision, Sensor Integration Machine [electronic resource] // https://www.sick.com/media/docs/3/83/883/Product_overview_Vision_en_IM0069883.PDF (accessed 27.09.2017). [in English]

7. Product catalog 2014/2015. Vision. Vision sensors. Smart cameras. Hight-end cameras. [electronic resource] // https://www.sick.com/media/docs/2/02/302/Product_catalog_Vision_en_IM0050302.PDF (accessed 27.09.2017). [in English]

8. TriSpector1000. INTUITIVE 3D INSPECTION [electronic resource] // https://www.sick.com/media/docs/2/72/272/Product_information_TriSpector1000_Intiutive_3D_Inspection_en_IM0062272.PDF (accessed 24.08.2017). [in English]

9. DS1000 - intellektualnye 3D skanery [DS1000 - smart 3D scanners] // The free access [electronic resource] <http://www.mallenom.ru/products/mashinnoe-zrenie/ds1000-3d-scanner/> (accessed 24.08.2017). [in Russian]

10. Cognex vision. Seriya DS1000. Datchik peremescheniya 3D. Lazernaya sistema opredeleniya profilya. [Cognex vision. The DS1000 series. The displacement sensor 3D. Laser system to determine the profile.] // The free access [electronic resource] [http://sensotek.ru/images/Cognex/pdf/DS1000%20Datasheet%20\(RUS\)%20\(1\).pdf](http://sensotek.ru/images/Cognex/pdf/DS1000%20Datasheet%20(RUS)%20(1).pdf) (accessed 27.09.2017). [in Russian]

11. RIFTEK. Lazernye skanery. Seriya RF625. Rukovodstvo po ekspluatatsii. [RIFTEK. The laser scanners. Series RF625. The user's manual.] // The free access [electronic resource] https://riftek.com/media/documents/rf625/manual/2D_Laser_Scanners_RF625_Series_rus.pdf (accessed 16.11.2017). [in Russian]

Винокуров И.В.

ORCID: 0000-0001-8697-1032, кандидат технических наук, доцент,

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана (филиал) в г. Калуге

АДАПТИВНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕГИСТРАЦИОННОГО НОМЕРА АВТОМОБИЛЯ**Аннотация**

Показана целесообразность и эффективность адаптивного распознавания элементов регистрационного номера автомобиля с использованием нейронной сети Хэмминга. Предложены этапы распознавания – выявление фрагмента изображения, предположительно содержащего регистрационный номер автомобиля, определение угла поворота фрагмента изображения, распознавание составляющих регистрационного номера на нейронной сети, коррекция элементов регистрационного номера автомобиля в зависимости от его типа. Разработано java-приложение для реализации этих этапов.

Ключевые слова: регистрационный номер автомобиля, оператор Собеля, преобразование Хафа, нейронная сеть Хэмминга.

Vinokurov I.V.

ORCID: 0000-0001-8697-1032, PhD in Engineering, Associate professor,

Kaluga Branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University

ADAPTIVE RECOGNITION OF ELEMENTS OF VEHICLE REGISTRATION NUMBER**Abstract**

The expediency and efficiency of adaptive recognition of the elements of vehicle registration number using the Hamming neural network is shown in the paper. The following stages of recognition are suggested: detection of a fragment of the image presumably containing the vehicle registration number, determination of the angle of rotation of the image fragment, recognizing the components of the registration number on the neural network, and correction of the elements of the vehicle registration number, depending on its type. A Java application has been developed to implement these steps.

Keywords: car registration number, Sobel operator, Hafa transformation, Hamming neural network.

В настоящее время существует множество программных систем и аппаратно-программных комплексов для распознавания регистрационных номеров автомобилей по изображениям с видеокamer слежения – «Поток» (компания «Росси»), «MegaCar» (компания «Megapixel»), «Авто-Инспектор» (компания ISS) и т.п. Практически в каждом из них распознавание регистрационного номера автомобиля состоит из следующих основных этапов: предобработка, сегментация и распознавание символов. Последний этап является достаточно важным и может быть осуществлен тремя различными типами методов – шаблонными, структурными или признаковыми. В признаковых методах изображение каждого символа представляется как объект в n -мерном пространстве признаков, который сравнивается с эталонными объектами, и изображение соотносится с наиболее подходящим из них. Одним из признаковых методов является *адаптивное нейросетевое распознавание*. Этот метод может быть использован и для распознавания элементов регистрационных номеров автомобилей. Основные этапы этого метода следующие [1, С. 364] – выделение горизонтального и вертикального фрагментов изображения, в которых предположительно находится регистрационный номер автомобиля; обнаружение и выделение элементов регистрационного номера автомобиля из содержащего его фрагмента изображения; распознавание элементов регистрационный номер автомобиля; коррекция элементов регистрационного номера автомобиля в соответствии с его типом.

Поскольку белый цвет фона пластины имеет максимальную цветовую интенсивность, то выделение фрагмента изображения, предположительно содержащего регистрационный номер автомобиля, может быть реализовано вычислением для всех горизонтальных и вертикальных пиксельных линий их цветовой интенсивности [2, С. 424]. Максимумы цветовой интенсивности вероятнее всего будут свидетельствовать о наличии в соответствующем фрагменте изображения регистрационного номера автомобиля (рис. 1).



Рис. 1 – Пики цветовой интенсивности вертикальной и горизонтальной проекций

Исходя из известной ширины символа регистрационного номера автомобиля, можно, как и на предыдущем этапе, посредством вычисления цветовой интенсивности его горизонтальной проекции, выделить в нем расположение составляющих его символов (рис. 2).

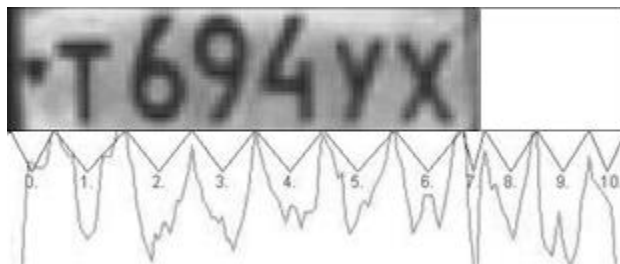


Рис. 2 – Пики горизонтальной интенсивности элементов регистрационного номера автомобиля

Непосредственно перед этапом выделения во фрагменте изображения символов регистрационного номера автомобиля достаточно часто возникает необходимость в его повороте. Определение угла поворота регистрационного номера автомобиля выполняется в результате совокупности нескольких типов анализов и последующей обработки изображения. На первом этапе выполняется операция выявления границ изображения на основе оператора Собеля для горизонтальных границ. Целью второго этапа является определение уравнения прямых, соответствующих верхней и нижней границам регистрационного номера автомобиля. На этом этапе выполняется расчет карты плотностей найденных точек границ в пространстве коэффициентов линейных зависимостей пространственных координат с использованием преобразования Хафа [3, С. 148].

Для распознавания (классификации) элементов регистрационного номера автомобиля вполне достаточно нейронная сеть Хэмминга [4, С. 46]. Сеть такого типа реализует вычисление хэммингово (евклидово) расстояние между распознаваемым и эталонным образами. Непосредственно перед реализацией этапа распознавания на нейронной сети, в ряде случаев может потребоваться шаблонная скелетизация [5, С. 51].

Все допустимые элементы регистрационного номера автомобиля после этапа их бинаризации (растеризации) представляются в виде матрицы некоторого размера. При этом пикселю с максимальной цветовой насыщенностью – единичное [6, С. 56].

Если изображение автомобиля имеет достаточно плохое качество, то возникает необходимость в адаптивной бинаризации. Основными параметрами адаптивной бинаризации являются радиус и порог. Первый представляет собой размер области, на которой происходит анализ каждого из участков изображения. Порогом является некоторое значение цвета (как правило, в градациях серого). Если цвет пикселя превышает это значение, то в последующем он рассматривается как пиксель с черным цветом, если не превышает, то с белым [7, С. 74]. Результат работы описанного выше способа адаптивной бинаризации приведен ниже (рис. 3).

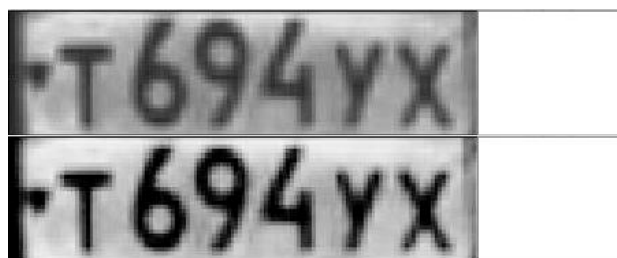


Рис. 3 – Результат работы адаптивной бинаризации изображения

Следует отметить, что нейронная сеть Хэмминга уступает по эффективности распознавания сетям обратного распространения ошибки, ART и некоторым другим, поскольку способна правильно распознавать (классифицировать) только слабо зашумленные образы [8, С. 123]. С целью повышения эффективности процесса распознавания, непосредственно перед его реализацией, выделенные фрагменты изображения регистрационного номера автомобиля сравниваются с эталонными значениями параметров их яркости, контрастности, оттенкам и цветовой насыщенности. Дополнительными параметрами высококонтрастных фрагментов изображения могут быть их высота, отношение ширины к высоте и некоторые другие [9, С. 156].

После реализации всех описанных выше этапов, распознанный регистрационный номер автомобиля сравнивается с шаблоном регистрационного номера 1-го типа [10, С. 94].

Описанная в предыдущей статье методика нейросетевого распознавания регистрационного номера автомобиля реализована в виде приложения, написанного на языке Java.

Основными командами приложения являются:

“Загрузка изображения” – осуществляет выбор файлов с изображениями автомобилей и их отображение на главном окне приложения в виде списка.

“Выделить и распознать номер” – реализует процесс распознавания регистрационного номера автомобиля на выбранном из списка изображении автомобиля. После завершения распознавания отображает выделенный из изображения номер автомобиля и его результат.

“Остановить процесс распознавания” – завершает процесс распознавания регистрационного номера автомобиля.

“Изменить параметры распознавания” – отображает диалоговое окно, позволяющее просматривать и/или изменять текущие значения параметров распознавания регистрационного номера автомобиля. Окно имеет закладки, на которых отображаются логически взаимосвязанные параметры распознавания, представляющие собой коэффициенты математических методов цифровой обработки изображений.

Процесс выделения и последующего распознавания элементов регистрационных номеров автомобилей по их фотографиям с использованием разработанного приложения заключается в реализации следующих этапов – выбор и загрузка изображений автомобилей; настройка параметров анализа и обработки изображений; настройка параметров выделения и распознавания элементов регистрационного номера; собственно, распознавание и отображение его результатов на главном окне приложения (рис. 4).

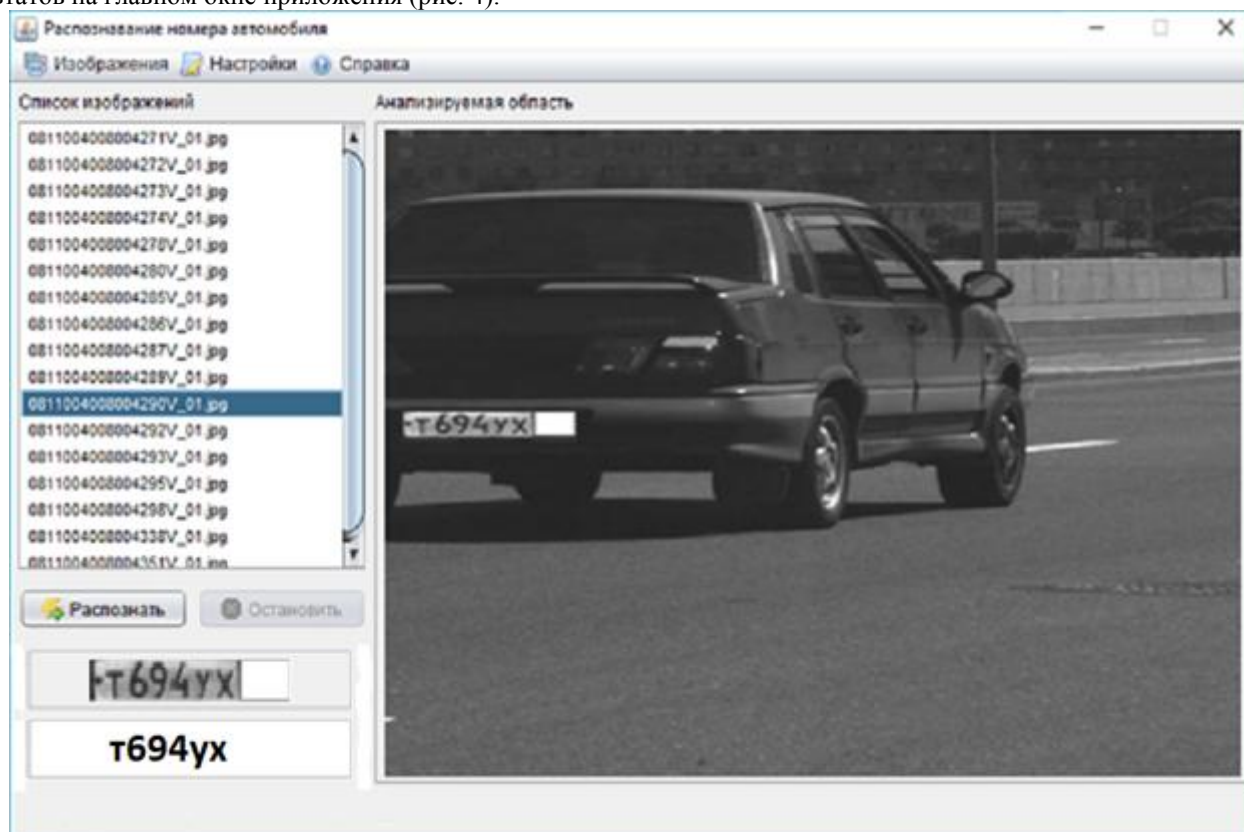


Рис. 4 – Результаты распознавания регистрационного номера автомобиля

Список литературы / References

1. Мурыгин К.В. Нормализация изображения автомобильного номера и сегментация символов для последующего распознавания / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2010. – № 2. – С. 364-369.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
3. Мурыгин К.В. Обнаружение автомобильных номеров на основе смешанного каскада классификаторов / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 147-152.
4. Винокуров И.В. Реализация распознавания регистрационного номера автомобиля на нейронной сети Хэмминга / И.В. Винокуров // ЮЖНО-СИБИРСКИЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК научно-технический журнал – 2014. № 3 (7). – С. 46.
5. Винокуров И.В. Распознавание регистрационного номера автомобиля на нейронной сети Хэмминга / И.В. Винокуров // Международный научный журнал «ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА». 2017. – № 01-2. – С. 51.
6. Винокуров И.В. Реализация распознавания регистрационного номера автомобиля на нейронной сети Хэмминга / И.В. Винокуров // Международный научный журнал «ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА». 2017. – № 01-2. – С. 56.
7. Ширяев В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика: Учебное пособие / В.И. Ширяев. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 232 с.
8. Ширяев В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика: Учебное пособие / В.И. Ширяев. – М.: КД Либроком, 2015. – 232 с.
9. Ширяев В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика / В.И. Ширяев. – М.: КД Либроком, 2016. – 232 с.
10. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие / Г.Э. Яхьяева. – М.: БИНОМ. ЛЗ, ИНТУИТ.РУ, 2012. – 316 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Murygin K.V. Normalizacija izobrazhenija avtomobil'nogo nomera i segmentacija simvolov dlja posledujushhego raspoznavanija [Normalization of Car Identification Number Image and Symbol Segmentation for Subsequent Recognition] / K.V. Murygin // Iskusstvennyj intellekt [Artificial Intelligence]. – 2010. – No. 2. – P. 364-369. [in Russian]
2. Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij [Digital image processing] / R. Gonsales, R. Vuds. – M.: Tehnosfera, 2006. – 1072 p. [in Russian]
3. Murygin K.V. Obnaruzhenie avtomobil'nyh nomerov na osnove smeshannogo kaskada klassifikatorov [Detection of Car Identification Numbers Based on Mixed Cascade of Classifiers] / K.V. Murygin // Iskusstvennyj intellekt [Artificial Intelligence]. – 2010. – No. 3. – P. 147-152. [in Russian]
4. Vinokurov I.V. Realizacija raspoznavanija registracionnogo nomera avtomobilja na nejronnoj seti Hjemminga [Implementation of Recognition of Vehicle Identification Number on Hamming Neural Network] / I.V. Vinokurov // JuZhNO-

SIBIRSKIY NAUCHNYJ VESTNIK nauchno-tehnicheskij zhurnal [SOUTH SIBERIAN SCIENTIFIC BULLETIN scientific and technical journal]. – 2014. – No. 3 (7). – P. 46. [in Russian]

5. Vinokurov I.V. Raspoznavanie registracionnogo nomera avtomobilja na nejronnoj seti Hjemminga [Recognition of Vehicle Identification Number on Hamming Neural Network] / I.V. Vinokurov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «INNOVACIONNAJA NAUKA» [International scientific journal "INNOVATIVE SCIENCE"]. – 2017. – № 01-2. – P. 51. [in Russian]

6. Vinokurov I.V. Realizacija raspoznavanija registracionnogo nomera avtomobilja na nejronnoj seti Hjemminga [Implementation of Recognition of Vehicle Identification Number on Hamming Neural Network] / I.V. Vinokurov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «INNOVACIONNAJA NAUKA» [International scientific journal "INNOVATIVE SCIENCE"]. – 2017. – No. 01-2. – P. 56. [in Russian]

7. Shirjaev V.I. Finansovyje rynki: Nejronnye seti, haos i nelinejnaja dinamika: Uchebnoe posobie [Financial Markets: Neural Networks, Chaos and Nonlinear Dynamics: Textbook] / V.I. Shirjaev. – M.: LIBROKOM, 2013. – 232 p. [in Russian]

8. Shirjaev V.I. Finansovyje rynki: Nejronnye seti, haos i nelinejnaja dinamika: Uchebnoe posobie [Financial Markets: Neural Networks, Chaos and Nonlinear Dynamics: Textbook] / V.I. Shirjaev. – M.: KD Librokom, 2015. – 232 p. [in Russian]

9. Shirjaev V.I. Finansovyje rynki: Nejronnye seti, haos i nelinejnaja dinamika [Financial Markets: Neural Networks, Chaos and Nonlinear Dynamics: Textbook] / V.I. Shirjaev. – M.: KD Librokom, 2016. – 232 p. [in Russian]

10. Jah'jaeva G.Je. Nechetkie mnozhestva i nejronnye seti: Uchebnoe posobie [Fuzzy Sets and Neural Networks: Textbook] / G.Je. Jah'jaeva. – M.: BINOM. LZ, INTUIT.RU, 2012. – 316 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.106>

Гарина С.В.¹, Никишин М.Б.²

¹ORCID: 0000-0002-6153-8977, кандидат технических наук, доцент

²ORCID: 0000-0002-1700-3676, кандидат педагогических наук, доцент

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. «Н.П. Огарева» г. Саранск

ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Аннотация

Приведены многокритериальные решения для задач оптимизации в строительстве. Предлагается метод поиска оптимальных решений. Данные задачи имеют большую сложность, так как к оптимальным решениям предъявляются требования по нескольким критериям. Требованиями по критериям могут быть затраты средств, времени, материалов, социальные, экологические последствия от реализации решений. Рассматриваются возрастающие и убывающие части целевой функции и дается оценка оптимального решения с помощью коэффициента эффективности. Предлагается рассмотреть приоритеты по каждому критерию. Установлено, что использование приоритетных оптимальных решений по отдельным критериям дает с наименьшими затратами времени определять оптимальные значения переменных.

Ключевые слова: оптимизация, многокритериальные решения, целевая функция.

Garina S.V.¹, Nikishin M.B.²

¹ORCID: 0000-0002-6153-8977, PhD in Engineering, Associate professor

²ORCID: 0000-0002-1700-3676, PhD in Pedagogy, Associate professor

Ogarev Mordovian State University, Saransk

ESTIMATIONS OF OPTIMALITY OF MULTICRITERIAL SOLUTIONS

Abstract

Multicriteria solutions for optimization of problems in construction are given in the paper, and the method for finding optimal solutions is proposed. These problems are of great complexity, since several criteria are required for the optimal solutions. The requirements for the criteria can be the costs of funds, time, materials, social, environmental consequences from the implementation of decisions. The increasing and decreasing parts of the objective function are considered and the estimation of the optimal solution by means of the efficiency coefficient is given. It is proposed to consider the priorities for each criterion. It is established that the use of priority optimal solutions by separate criteria gives the least possible time to determine optimal values of variables.

Keywords: optimization, multicriteria solutions, objective function.

В поисках оптимального решения могут принимать участие несколько групп лиц, которые предлагают варианты, удовлетворяющие их интересам. Они выбирают критерии, предопределяющие желаемые решения [1, С. 15].

Одних интересует производительность труда, других – продолжительность жизни, третьих – уровень доходов и т. д. Любые критерии можно представить в обобщенном эквиваленте, но это сложно. Многокритериальные целевые функции – это система целевых функций, каждая из которых связана с соответствующим критерием [3, С. 14], [4, С. 61], [5, С. 20]. Если переменные параметры целевых функций одинаковы, а постоянные параметры разные, то единого решения не существует. Исключение – одинаковое соотношение постоянных параметров для всех критериев. Что в большей степени вероятно.

Многокритериальные оптимизационные задачи рассматриваются в теории нечетких множеств [10]. Большинство моделей принятия решений в нечетких условиях используют заданные критерии, ограничения и альтернативы. Эти модели применяют при принятии коллективных и индивидуальных решений, для решения многокритериальных и

однокритериальных задач, для многоэтапных и одноэтапных процессов поиска решений, при нечетком математическом программировании и бинарных отношениях альтернатив.

Индивидуальные предпочтения подразделяются на следующие виды решений: групповые, решения малых групп и игровые решения определенного количества лиц.

При принятии групповых решений каждый участник стремится к коллективному оптимальному решению, которое, хотя и в разной степени, удовлетворяет и личные интересы.

Решения малых групп могут удовлетворять частные и общие интересы.

Если необходимо учитывать интересы всех лиц, принимающих решение, то для разрешения конфликтных ситуаций применяют теорию игр. Любые задачи или ситуации в той или иной форме всегда разрешимы, поскольку отсутствие решения – тоже решение. В этом случае изменяется состав участников – лиц, принимающих решения.

При принятии коллективных решений всегда появляются лидеры и аутсайдеры, интересы которых и будут соответственно удовлетворены. Методики поиска оптимальных решений, отвечающих нескольким критериям, существуют. Так, для транспорта необходимо обеспечить такие критерии, как приемлемая стоимость перевозок, комфорт для пассажиров, эстетичность оформления вокзалов, вагонов, экологическая безопасность и т. д. Каждый из них требует расхода ресурсов.

Методика поиска таких решений основана на компромиссах. Проиллюстрируем это на примере создания новой техники. В обществе складывается мнение о наиболее важных проблемах, решение которых имеет первостепенное значение. Для авиалайнеров используют экономичные двигатели с малыми выбросами вредных веществ, с ограниченным уровнем шума, надежные навигационные приборы. Учитывая это, их строят кооперативно. Одни поставляют двигатели, другие – приборы и т. д. Стоимость такого лайнера высокая, но, ссылаясь на международные требования к полетам, другие лайнеры не допускаются к эксплуатации на международных линиях. Получено оптимальное решение для параметров авиалайнеров.

Представляет интерес рассмотрение оптимальности решений по социальным (качественным) и экономическим (количественным) критериям. В оптимальных решениях по качественному критерию права каждого человека на жизнь, работу и т. д. равны. По количественному критерию оптимальное решение обеспечивает приоритет пользы для общества, а не для отдельного человека.

Рассмотрим более простую ситуацию. Есть два населенных пункта. Решено открыть магазин для их жителей. Его размещение согласно качественному критерию оптимально, если затраты на его посещение жителями этих пунктов будут одинаковы. По количественному критерию магазин необходимо разместить в том пункте, где больше жителей, так как если он будет в малонаселенном пункте, то затраты времени и средств на его посещение возрастут пропорционально отношению числа жителей этих пунктов.

Такие подходы к решению многокритериальных оптимизационных задач имеют недостатки, но в некоторых случаях дают результаты.

Под компромиссными решениями следует понимать решения, принимаемые различными лицами на основе разных количественных и качественных критериев, учитывающих их интересы.

В корпорациях, кооперативах, фирмах и т. д. при принятии коллективного решения учитывают политические, финансовые, социальные, экологические и другие интересы, которые предопределяют соответствующие критерии для оценки решений. Так, для выпуска продукции используют материалы, конструкции, оборудование, которые производят в корпорации и вне ее. По критерию стоимости нужно приобретать наиболее дешевые товары и услуги, что невыгодно подразделениям корпорации, выпускающим неконкурентную продукцию. Лишенные заказов, они вынуждены покинуть корпорацию, а она в дальнейшем будет иметь дело с поставщиками. Только стоимостным критерием успехи корпораций не измерить. Поэтому они приобретают предприятия для обеспечения всей технологической цепочки. Такие численные критерии, как рабочая сетка, темпы роста, трудозатраты и подобные им, могут быть выражены в рублях. Это допускается сделать для оценки комфортности жилья, качества здоровья, регулирования рождаемости, трудовой активности, прогнозов развития техники и т. п.

Рассмотрим систему целевых функций (критериев) вида

$$\begin{cases} f_1 = f_1(x_1, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_k = f_k(x_1, \dots, x_n) \end{cases}, \quad (1)$$

где f_1, \dots, f_k – целевые функции для k критериев; x_1, \dots, x_n – параметры.

Для большего количества критериев существуют области, ограничивающие значение любой переменной.

При правильной постановке целей все критерии работают в одном направлении и могут существовать оптимальные значения переменных, удовлетворяющих нескольким критериям. Добываясь высокой прочности бетона на сжатие, повышаем и другие его свойства.

В многокритериальных задачах каждому критерию соответствуют целевые функции $f_1(x), \dots, f_k(x)$ [2, С. 10-15]. Эти функции имеют свои оптимальные значения:

$$f_1(x_1^{onm}), \dots, f_k(x_k^{onm}). \quad (2)$$

Необходимо рассмотреть, как используются функции (2) при определении компромиссного значения переменной x_k . Функции (2) в этом случае имеют вид:

$$F_{1k}(x_k) \dots F_{nk}(x_k). \quad (3)$$

Отклонения в (2) от замены оптимальных значений $x_1^{onm} \dots x_n^{onm}$ на $x_1^i \dots x_k^i$ в:

$$\Delta F_{1k} = F_{1k}(x_1^i) - F_{1k}(x_1^{onm}); \Delta F_k = F_k(x_1^i) - F_k(x_k^{onm}). \quad (4)$$

Пусть \bar{W}^+ , \bar{W}^- – возрастающие и убывающие части для каждого выражения в системе (1) при увеличении x .
Оптимальному значению для каждой функции (1) соответствует [6], [7]

$$\bar{W}^+ = \bar{W}^-. \quad (5)$$

Степень отклонения x от x^{onm} оценивается коэффициентом эффективности [8], [9]

$$\Theta = \bar{W}^+ / \bar{W}^-. \quad (6)$$

В оптимальном решении $\Theta = 1$.

Примеры поиска компромиссных значений x_k .

Имеем две независимые функции:

$$\begin{aligned} F_1 &= 2x_1 + \frac{2}{x_1}; x_1^{onm} = 1; F_1^{onm} = 4; \\ \bar{W}_1^+ &= 2; \bar{W}_1^- = \frac{2}{x_1^2}; \Theta_1 = \frac{2}{\frac{2}{x_1^2}} = 1; x_1^{onm} = 1; \\ F_2 &= x_2 + \frac{4}{x_2}; x_2^{onm} = 2; F_2^{onm} = 4; \\ \bar{W}_2^+ &= 1; \bar{W}_2^- = \frac{4}{x_2^2}; \Theta_2 = \frac{1}{\frac{4}{x_2^2}} = 1; x_2^{onm} = 2 \end{aligned}$$

Если F_1 – время строительства в годах, а F_2 – стоимость строительства в млн. рублей. Тогда

$$F_{1k} = 2x_k + \frac{2}{x_k}; F_{2k} = x_k + \frac{4}{x_k}. \quad (7)$$

Обобщенная целевая функция запишется

$$\begin{aligned} F_k &= 2x_k + x_k + \frac{2}{x_k} + \frac{4}{x_k} = 3x_k + \frac{6}{x_k}; \\ \bar{W}_k^+ &= 3; \bar{W}_k^- = \frac{6}{x_k^2}; (x_k^{onm})^2 = \frac{6}{3} = 2; x_k = 1,41; \\ F_{1k} &= 2 * 1,41 + \frac{2}{1,41} = 4,24 \quad \text{потери времени 0,24 месяца;} \\ F_{2k} &= 1,41 + \frac{4}{1,41} = 4,23 \quad \text{потери в 0,23 млн. рублей.} \end{aligned}$$

Если считать, что x – это десятки работающих. То для оптимального варианта F_1^{onm} требуются 10 человек, для F_2^{onm} – 20 человек.

Вариант решения необходимо сравнивать с допустимым значением целевой функции (1).

При нахождении оптимальных решений необходимо учитывать приоритеты критериев Π_1, \dots, Π_k . Если приоритеты разные ($\Pi_1 = 1; \Pi_2 = 0,5$ и т.д.), тогда в полученных выражениях нужно заменить F_1 на $\Pi_1 \cdot F_1$ и F_2 на $\Pi_2 \cdot F_2$. Значения $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_k$ согласуются с заинтересованными сторонами.

Рассмотрим пример двух целевых функций, одна из которых выражает количество квартир, а другая стоимость в млн. рублей.

$$\begin{aligned} F_1 &= x_1 + \frac{1}{x_1}, x_1^0 = 1, F_1^0 = 2 \text{ квартиры} \\ 1 \text{ квартира} &= 10 \text{ млн. руб.} \\ F_2 &= x_2 + \frac{1}{x_2}, x_2^0 = 2, F_2^0 = 4 \text{ млн.} \end{aligned}$$

Если рассматривать критерии с учетом приоритетов $F_1 = 10x_1 + \frac{10}{x_1}, x_1^0 = 1, F_1^0 = 20 \text{ млн.}$

$$F_2 = x_2 + \frac{4}{x_2}, x_2^0 = 2, F_2^0 = 4 \text{ млн},$$

$$\text{Получаем } F_1^0 + F_2^0 = 24 \text{ млн.}$$

Суммарная функция

$$F_k = 11x_k + \frac{14}{x_k}, x_k = 1,13$$

$$F_k = 12,4 + 12,4 = 24,8 \text{ млн.}$$

В общем случае используют приоритетные оптимальные решения по отдельным критериям. Когда наборы частных решений стохастические (нерегулярные), эффективны компромиссные решения для отдельных блоков задачи.

Список литературы / References

1. Гарина С.В. Математическое моделирование процесса построения оценок оптимальности строительных конструкций: дис. ... канд. тех. наук : 05.13.18 : защищена 30.11.05 : утв. 10.03.06 / Гарина Светлана Владимировна. – Саранск: МГУ «им. Н.П. Огарева», 2005. – 117 с.
2. Гарина С. В. Оптимизация многокритериальных решений. / С. В. Гарина, Б. М. Люпаев, М.Б. Никишин // Вестник Мордовского университета, 2015. - № 4. – С. 10-15.
3. Гарина С.В. Оптимальные решения многокритериальных задач. //Сборник статей Международной научно - практической конференции «Информация как двигатель научного прогресса». Т.2 - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 13- 16.
4. Гарина С.В. Компьютерное моделирование и оценка оптимальности технических решений/ С. В. Гарина, М. Б. Никишин // Сборник статей Международной научно -практической конференции. Т.3 - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 60-62.
5. Гарина С.В. Многокритериальные решения в задачах оптимизации строительных конструкций/ С. В. Гарина, М. Б. Никишин // Материалы международной научно -практической конференции «Методы проектирования и оптимизации технологических процессов» – Уфа, 2017. – С. 19- 21.
6. Люпаев, Б. М. О качественных оценках оптимальности технических решений / Б. М. Люпаев, С. В. Гарина // Современные проблемы строительного материаловедения. – Воронеж: ВГАСА, 1999. – С.259–263.
7. Люпаев, Б. М. Особенности оптимизации расчета железобетонных элементов на поперечную силу/ Б. М. Люпаев, С. В. Гарина// Материалы международной научно -технической конференции «Актуальные вопросы строительства» – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – С. 285-287.
8. Люпаев Б. М. К расчету многоэтажных зданий на импульсные нагрузки. / Б.М. Люпаев, С.В. Гарина, В.К. Свиридюк // Вестник Мордовского университета, 2003. Т. 13. - №1-2. – С. 154-157.
9. Люпаев Б. М. Оценка оптимальности параметров материалов и конструкций / Б. М. Люпаев, С. В. Гарина, Л. В. Салтанова // Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства» – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 218-219.
10. Уайлд Д. Оптимальное проектирование / Уайлд, Д. – М.: Мир, 1981. – 272 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Garina S.V. Matematicheskoe modelirovanie processa postroenija ocenok optimal'nosti stroitel'nyh konstrukcij [Mathematical modeling of the process of estimating the optimality of building structures]: dis. ... of PhD in Engineering : 05.13.18 : defense of the thesis 30.11.05: approved 10.03.06 / Garina Svetlana Vladimirovna. – Saransk, 2005. 117p. [in Russian]
2. Garina S. V. Optimizacija mnogokriterial'nyh reshenij [Optimization of multi-criteria decision] / S. V. Garina, B.M. Ljupaev, M. B. Nikishin // Vestnik Mordovskogo universiteta [Vestnik mordovskogo universiteta] – 2015. - № 4. – P. 10-15. [in Russian]
3. Garina S. V. Optimal'nye reshenija mnogokriterial'nyh zadach [Optimal solutions of multicriteria problems] // Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno -prakticheskoy konferencii «Informacija kak dvigatel' nauchnogo progressa» [Collection of articles of International scientific-practical conference "Information as the engine of scientific progress"]. V. 2 - Ufa: AETERNA, 2017. – P. 13 - 16. [in Russian]
4. Garina S. V. Komp'yuternoe modelirovanie i ocenka optimal'nosti tehniceskikh reshenij [Computer modeling and the assessment of the optimal technical solutions]/ S. V. Garina, M. B. Nikishin // Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno - prakticheskoy konferencii [Collection of articles of International scientific-practical conference] – V.3 - Ufa: AETERNA, 2017. – P. 60 - 62. [in Russian]
5. Garina S. V. Mnogokriterial'nye reshenija v zadachah optimizacii stroitel'nyh konstrukcij [Multi-criteria decisions in optimization problems of building constructions]/ V. S. Garina, M. B. Nikishin // Materialy mezhdunarodnoj nauchno - prakticheskoy konferencii «Metody proektirovanija i optimizacii tehnologicheskikh processov» [Materials of international scientific-practical conference «Methods for the design and optimization of technological processes»] – Ufa, 2017. – P. 19 - 21. [in Russian]
6. Ljupaev B. M. O kachestvennyh ocenках optimal'nosti tehniceskikh reshenij [On qualitative evaluation of optimal technical solutions. Modern problems of building materials] / B. M. Ljupaev, S. V. Garina // Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedenija [Modern problems in building materials] – Voronezh: VGASA, 1999, P. 259-263. [in Russian]
7. Ljupaev B. M. Osobennosti optimizacii rascheta zhelezobetonnyh jelementov na poperechnuju silu [Optimization of the design of reinforced concrete elements in shear force]/ B. M. Ljupaev, S. V. Garina // Materialy mezhdunarodnoj nauchno - tehniceskoy konferencii «Aktual'nye voprosy stroitel'stva» [Materials of international scientific-technical conference «Modern issues of construction»] –Saransk: Mordovia State University Press Publ., 2008. P. 285-287. [in Russian]

8. Ljupaev B. M. K raschetu mnogojetazhnyh zdaniy na impul'snye nagruzki [To calculation of multi-storey buildings under pulse load] / B. M. Ljupaev, S. V. Garina, V. K. Sviridyuk // Vestnik Mordovskogo universiteta [Vestnik mordovskogo universiteta] – 2003. V. 13. - №1-2. – P. 154-157. [in Russian]

9. Ljupaev B. M. Ocenka optimal'nosti parametrov materialov i konstrukcij [Assessment of optimal parameters of materials and structures] / B. M. Ljupaev, S. V. Garina, L. V. Saltanova // Materialy trinaicatoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva» [Materials of XIII international scientific and technical conference «Topical issues of architecture and construction»] – 2014. P. 218-219. [in Russian]

10. Uajld D. Optimal'noe proektirovanie [Optimal design]/ D. Uajld – M.: Mir, 1981. 272 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.086>

Глазков И.Д.

Магистрант, Омский государственный технический университет, г. Омск

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ

Аннотация

В статье произведен анализ материалов, которые будут использованы при конструировании оправки с гидропластом, выбранной в качестве наиболее удобной для закрепления тонкостенных деталей типа вал. Анализ производился с целью выявить, какой материал отвечает заданным конструктивным требованиям для изготовления приспособления. В результате исследования автор приходит к выводу о возможности использования резиновой втулки в качестве упругого элемента оправки, что позволит компенсировать разность диаметров детали и оправки, исключая необратимые растяжения, появляющиеся при использовании в качестве разжимного элемента металлической втулки.

Ключевые слова: тонкостенные детали, закрепление, оправка, гидропласт, компенсация.

Glazkov I.D.

Master's Degree Student,

Omsk State Technical University, Omsk

SUBSTANTIATION OF MATERIALS FOR DEVICE USED AT FIXING OF THIN-WALL PARTS OF MOUND TYPE

Abstract

The paper analyzes materials that will be used in the construction of a drift with a PVC paste, chosen as the most suitable for fastening of thin-walled parts of a mound type. The analysis was carried out in order to determine which material meets the specified design requirements for the manufacture of a device. As a result of the research, the author comes to the conclusion that it is possible to use a rubber insert as an elastic element of the drift, which will compensate for the difference in the diameters of a part and a drift, excluding the irreversible stretch that appears when using a metal sleeve as the expansion element.

Keywords: thin-walled parts, fastening, drift, PVC paste, compensation.

Анализируя способы закрепления тонкостенных деталей при токарной обработке, было определено, что для наиболее технологичного закрепления детали Вал (рис. 1) следует рассмотреть два основных способа: использование оправки с гидропластом и приспособления для закрепления по торцам. Оправка с гидропластом позволит закрепить деталь по внутренней цилиндрической поверхности, распределив усилие зажима по всей поверхности контакта детали с оправкой в радиальном направлении. Также данная оправка позволит скомпенсировать разницу диаметра оправки с тонкой стенкой, которая составляет 3 мм на диаметр (рис. 1). Использование приспособления для закрепления по торцам на растяжение или сжатие позволит полностью устранить нагрузку на тонкую стенку, однако не позволит более точно откладывать длинные размеры, из-за невозможности обработки торца детали. На основе этого был сделан вывод, что наиболее целесообразным способом закрепления будет применение оправки с гидропластом.

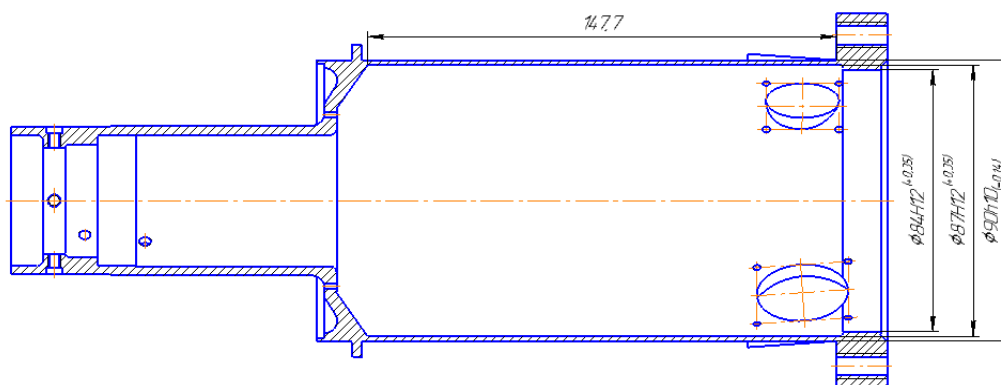


Рис. 1 – Вал

Типовая конструкция данного приспособления представлена на рисунке 2 [4 С. 264].

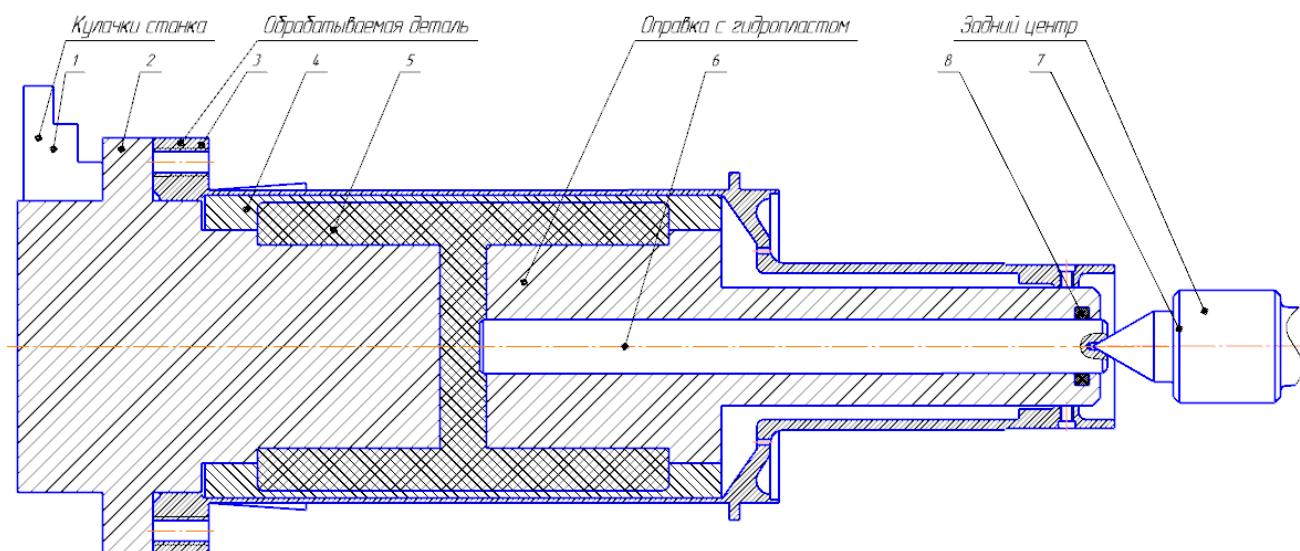


Рис. 2 – Типовая конструкция оправки с использованием гидропласта применительно к детали «Вал»

Данное приспособление работает следующим образом. В полость (поз. 5) через отверстие под плунжер (поз. 6) заливается гидропластмасса, предварительно разогретая до температуры 120-150 градусов Цельсия. Охлаждается и усаживается. При необходимости добавляется некоторое количество. Далее вставляется плунжер, причем зазор между отверстием вала (поз. 2) и плунжером должен быть порядка 0,1-0,3 мм. Некоторые виды наполнителей могут просачиваться в зазор. Для предотвращения этого используют прокладки (поз. 8). После этого оправку устанавливают в патрон (поз. 1) и базируют на ней обрабатываемую деталь (поз. 3). Плунжер поджимается задним центром (поз. 7) с некоторым расчетным усилием, сжимая гидропласт в рабочей полости. Так как давление в жидкости передается в каждую точку одинаково, то под действием силы на плунжере гидропласт начнет разжимать рабочую полость. Упругая втулка (поз. 4) станет разжиматься и закрепит обрабатываемую деталь. Также вместо гидропласта могут использоваться масла.

При проектировании данного приспособления рассматривались следующие виды гидропласта (табл. 1) [4]:

Таблица 1 – Характеристики гидропласта различных марок

| Свойства и состав гидропластов марки: | СМ | ДМ | МАТИ-1-4 |
|---------------------------------------|---------|---------|----------|
| Полихлорвиниловая смола марки М, % | 20 | 10 | 20 |
| Дибутилфталат (пластификатор) | 78 | 88 | 59 |
| Стеарат кальция (стабилизатор) | 2 | 2 | 1 |
| Вакуумное масло | - | - | 20 |
| Температура плавления, °С | 140-150 | 120-130 | 150-160 |

Данные виды гидропласта не просачиваются в зазор 0,1 – 0,3 мм при давлениях доходящих до $3 \cdot 10^7$ Па. В качестве замены гидропласта можно применять различные виды масел, но к ним необходимо подбирать надежные уплотнения. Масло имеет более текучую и жидкую структуру. Анализируя различные виды гидропласта, была выбрана марка ДМ, как универсальный гидропласт с наименьшей температурой плавления, что ускорит процесс разогрева и остывания, а также сохранит упругие свойства втулки и прочность соединения втулка-корпус.

В качестве материала втулки в типовых конструкциях оправки данного типа используются легированные стали. Их предел упругости $5 \cdot 10^8$ - $7 \cdot 10^8$ Па и модуль упругости $2 \cdot 10^{11}$ Па дают втулке небольшой ход от 0,015 до 0,25 мм. В данном случае такой материал втулки не позволит осуществить разжатие на 3 мм на диаметр. В качестве материала втулки рассматривались различные виды металлов и резины (табл. 2) [6], [7], [8]; (табл. 3) [1, С. 309].

Таблица 2 – Свойства металлов

| Свойства металлов: | Легированная сталь | Алюминий | Свинец |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Модуль упругости, Па | $2 \cdot 10^{11}$ | $0,7 \cdot 10^{11}$ | $0,18 \cdot 10^{11}$ |
| Предел текучести, Па | $5 \cdot 10^8$ - $8 \cdot 10^8$ | $0,4 \cdot 10^8$ - $4 \cdot 10^8$ | $0,7 \cdot 10^8$ - $0,8 \cdot 10^8$ |
| Компенсируемый размер, мм | 0,2 | 0,72 | 0,35 |

Таблица 3 – Свойства резин

| Свойства резин: | Термостойкие | Термо хим. стойкие | Общего назначения |
|--|--------------|--------------------|-------------------|
| Рабочая температура, °С | 250 | 250 | 80-130 |
| Относительное удлинение, % | 360 | 200-400 | 500-530 |
| Остаточное удлинение, % | 4 | - | 12-20 |
| Деформация обратимого растяжения до 500% | | | |

При подборе материала втулки основной упор был на рабочую температуру, в соответствии с выбранным гидропластом 130°C, разжатие более чем на 3 мм на диаметр, обратимость растяжения. Рассмотренные металлы не удовлетворяют двум последним условиям, поэтому после изучения свойств резин в качестве материала упругой втулки была выбрана термо химически стойкая резина. Для предупреждения непредвиденных ситуаций примем втулку диаметром 80 мм, на тот случай, если будет остаточное удлинение. Такое удлинение не превысит 4 мм, следовательно, оправка свободно снимется с детали.

Материал плунжера и вала - сталь 45, как наиболее востребованная марка сырья.

После определения необходимых материалов были рассмотрены способы закрепления упругой втулки на валу (табл. 1) [5].

Таблица 4 – Способы закрепления втулки на валу

| | Прочность склеивания Па, при температуре, Т°С | |
|----------------------|---|--------|
| Клеевое соединение | $1,9 \cdot 10^7 - 0,4 \cdot 10^7$ | 20-200 |
| Эбонитовая прослойка | $0,8 \cdot 10^7 - 0,1 \cdot 10^7$ | 20-110 |
| Латунная прослойка | $0,6 \cdot 10^7 - 0,4 \cdot 10^7$ | 0-150 |

В современном машиностроительном комплексе постоянно возникает необходимость в сборке изделий, выполненных из разнородных материалов.

Номенклатура способов достаточно обширна. Для достижения адгезии необходимо достичь нужного химического и межмолекулярного взаимодействия. В данной работе были рассмотрены наиболее применяемые способы соединения резины с металлами. Использование эбонита в качестве связки основано на способности каучука связываться с металлом посредством содержания серы, которой на эбонит приходится около 32%. При использовании эбонитовой прослойки, к закрепленному на металлическом изделии эбониту клеится и прикатывается резиновая смесь, после чего изделие идет на вулканизацию. Длительность вулканизации, неустойчивость к вибрациям и ударам, низкая температуростойкость делает данный способ низкотехнологичным. Использование латунной прослойки, получаемой электроосаждением на металле, нашло распространение ввиду способности резиновой смеси прочно крепиться к поверхности латуни. Соединение металла с резиной посредством латунной прослойки будет прочнее, теплоустойчивее, виброустойчивее, чем при использовании эбонита, однако этот способ подходит для деталей небольшого размера. При выборе способов закрепления с помощью прослоек необходимо уделить особое внимание технологической подготовке производства, ввиду необходимости использования специального оборудования и сложности процесса. Следует отметить, что при использовании клеевого соединения на сопрягаемые детали может не оказываться какого-либо влияния высоких температур, какое оказывается при использовании прослоек из эбонита и латуни. Сам же технологический процесс, сводящийся к очистке сопрягаемых поверхностей деталей, происходит значительно проще и дешевле.

Наиболее прочные соединения на данный момент получаются путем склеивания. В качестве клея был выбран ВС-10Т согласно ГОСТ 22345-77 [4], применяемый для склеивания металлов и неметаллов, сохраняющий высокие эксплуатационные свойства при повышенной рабочей температуре.

Таким образом, в работе была обоснована конструкция данного приспособления. Важно отметить, что выбор материалов упругой втулки происходил при таком условии, что необходимо было компенсировать зазор между оправкой и валом. Использование в качестве материала термо химически стойкой резины сделает возможным компенсировать данный зазор. В дальнейшей работе планируется конструирование самих элементов оправки и расчет допустимых режимов обработки. Использование приспособления данного типа значительно упростит закрепление тонкостенных деталей при токарной обработке.

Список литературы / References

1. Федотов А.К. Физическое материаловедение: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 3. Материалы энергетики и энергосбережения/ А.К. Федотов, В.М. Анищик, М.С. Тиванов. – Минск: Высшая школа, 2015. – 463 с.
2. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник/ авт.–сост. А.К. Горошкин – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с., ил.
3. Библиотека технической литературы [Электронный ресурс]: Приспособления с гидропластом URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/1/113.htm> (дата обращения 10.11.2017).
4. ГОСТ 22345-77. Клей ВС-10 теплостойкий. Технические условия; введ. 01.01.78. – Москва: Изд-во стандартов, 1993. – 12 с.
5. Энциклопедия современной техники [Электронный ресурс]: Крепление резины к металлам URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-2/164.htm> (дата обращения 16.11.2017).
6. Справочник по цветным металлам [Электронный ресурс]: Алюминий URL: <https://libmetal.ru/al/al.htm> (дата обращения 16.11.2017).

7. Справочник по цветным металлам [Электронный ресурс]: Свинец URL: <https://libmetal.ru/svinec/svinec.htm> (дата обращения 16.11.2017).

8. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]: Сталь марки 35ХГСА URL: http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/stk/35XGSA (дата обращения 16.11.2017).

9. Косилова А.Г. Справочник технолога – машиностроителя / под. ред.: А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – Т1 – 656 с.

10. Косилова А.Г. Справочник технолога – машиностроителя / под. ред.: А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова – М.: Машиностроение, 1985. – Т2 – 554 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedotov A.K. Fizicheskoye materialovedeniye [Physical material science]: tutorial In 3 p. P. 3. Materialy energetiki i energosberezheniya [Materials of power engineering and energy saving]/ A.K. Fedotov, V.M. Anishchik, M.S. Tivanov. – Minsk: High school, 2015. – 463 p. [in Russian]

2. Goroshkin A.K. Prispobleniya dlya metallorazreshchikh stankov [Adaptations for metal-cutting machine tools] [Text]: Directory/ author A.K. Goroshkin – M.: Mashinostroyeniye, 1979. – 303 p., il. [in Russian]

3. Biblioteka tekhnicheskoy literatury [Library of technical literature] [Electronic resource]: Prispobleniya s gidroplastom [Adaptations with hydroplastic] URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/1/113.htm> (date of access 10.11.2017). [in Russian]

4. GOST 22345-77. Kley VS-10 teplostoykiy [Glue BC-10 is heat-resistant]. Technical conditions. [Text]; introduced 01.01.78. - Moskva: Izd-vo standartov, 1993. - 12 p. [in Russian]

5. Entsiklopediya sovremennoy tekhniki [Encyclopedia of modern technology] [Electronic resource]: Krepleniye reziny k metallam [Fastening of rubber to metals] URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-2/164.htm> (date of access 16.11.2017). [in Russian]

6. Spravochnik po tsvetnym metallam [Handbook of non-ferrous metals] [Electronic resource]: Alyuminiy [Aluminum] URL: <https://libmetal.ru/al/al.htm> (date of access 16.11.2017). [in Russian]

7. Spravochnik po tsvetnym metallam [Handbook of non-ferrous metals] [Electronic resource]: Svinets [Lead] URL: <https://libmetal.ru/svinec/svinec.htm> (date of access 16.11.2017). [in Russian]

8. Tsentralnyy metallicheskiy portal RF [Central metal portal of the Russian Federation] [Electronic resource]: Stal marki 35HGSA [Steel grade 35HGSA] URL: http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/stk/35XGSA (date of access 16.11.2017). [in Russian]

9. Kosilova A.G. Spravochnik tekhnologa – mashinostroitelya [Handbook of the technologist - machine builder] [Text]/ edited by: A.G. Kosilovoy, R.K. Meshcheryakova. – 4 edition – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – Т1 – 656 p. [in Russian]

10. Kosilova A.G. Spravochnik tekhnologa – mashinostroitelya [Handbook of the technologist - machine builder] [Text]/ edited by: A.G. Kosilovoy, R.K. Meshcheryakova – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – Т2 – 554 p. [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.2018.67.097>Граецкая О.В.¹, Чусова Ю.С.², Торгоня Д.П.³¹ORCID: 0000-0002-2700-2036, кандидат технических наук;²ORCID: 0000-0001-7332-6480, старший преподаватель; ³ORCID: 0000-0002-4317-1331, студент,

Южный федеральный университет

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**Аннотация**

Проведен сравнительный анализ современных технологий земледелия. Обоснована необходимость внедрения адаптивно-ландшафтных систем земледелия и актуальность разработки системы поддержки принятия решений, позволяющей упростить внедрение адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Разработана модель системы поддержки принятия решений, включающая архитектуру системы, функциональные требования, алгоритмы работы подсистем, геоинформационную систему для создания и редактирования почвенно-ландшафтных карт.

Ключевые слова: технологии земледелия, адаптивно-ландшафтная система земледелия, система поддержки принятия решений.

Graetska O.V.¹, Chusova Yu.S.², Torgonya D.P.³¹ORCID: 0000-0002-2700-2036, PhD in Engineering;²ORCID: 0000-0001-7332-6480, Senior lecturer; ³ORCID: 0000-0002-4317-1331, Student,

Southern Federal University

ANALYSIS AND SIMULATION OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE-LANDSCAPE FARMING SYSTEM**Abstract**

The authors carried out a comparative analysis of modern farming technologies. The necessity of introduction of adaptive-landscape farming systems is substituted and the urgency of the development of the support system for decision-making is proved, allowing to simplify the introduction of the adaptive-landscape system of agriculture. A model of decision support system is developed, including the system architecture, functional requirements, subsystem algorithms, geoinformation system for development and edition of soil-landscape maps.

Keywords: agricultural technologies, adaptive-landscape farming system, decision support system.

Современное земледелие – это система, которая включает в себя множество компонентов, находящихся в тесной взаимосвязи друг с другом и природной средой. Так как природная среда постоянно меняется и ее поведение очень сложно спрогнозировать, земледелие относят к сложным системам, для управления которыми необходимо использовать методологию системного анализа и принятия решений, реализуя ее с помощью современных информационных технологий.

В данный момент первоочередной причиной кризиса сельского хозяйства в России является слабая экологическая связь земледелия с природной средой. Итогом чего является разрушение окружающей среды: развитие эрозийных процессов, деградация почв, засоление, заболачивание территорий и развитие других негативных процессов. Согласно Стратегии социально-экономического развития агропромышленного комплекса РФ на период до 2020 года в нашей стране более активно будут развиваться научно-обоснованные зональные системы земледелия, которые обеспечат эффективное использование земельных, трудовых, энергетических и других ресурсов [1]. Также должно расширяться производство экологически чистой продукции. Для этого необходимо сформировать новый уклад агропромышленного производства путем модернизации и внедрения инноваций в деятельность сельскохозяйственных предприятий. Основным условием решения этой задачи является разработка и внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ). Такие системы должны быть способны адаптироваться к конкретным агроландшафтам, не нарушая их экологическую устойчивость, также необходимо рационально размещать возделываемые культуры, исходя из их агроэкологических и агротехнологических требований.

В последнее время в сельском хозяйстве набирает популярность применение высокоинтенсивных технологий, которые учитывают эколого-экономическую эффективность проведения работ. При использовании высоких технологий продуктивность выращиваемой культуры близка к ее биологическому потенциалу. В научных лабораториях создаются новые высокопродуктивные сорта культур, более безопасные удобрения и средства химической защиты. Разрабатываются новые способы обработки почвы, внесения удобрений и химических средств.

В таблице 1 выполнено сравнение двух передовых видов технологий земледелия – интенсивных и высоких технологий.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технологий земледелия

| Показатели сравнения | Интенсивные технологии | Высокие технологии | Преимущества высоких технологий |
|----------------------------------|---|---|---|
| Способ использования земли | Почти вся пашня занята посевами. Значительная часть отведена под пропашные культуры | Оптимальная структура посевных площадей с учетом специализации хозяйства и агроландшафтов | Надежная защита окружающей среды. Повышение плодородия почвы |
| Способ повышения плодородия | Применение органических и минеральных удобрений в большом количестве | Сочетание оптимальных доз удобрений и почвозащитных мероприятий | Уменьшение затрат. Низкая вероятность перенасыщения почвы удобрениями |
| Севообороты | 3-5 полевые | 6-9 полевые с многолетними травами и сидератами | Улучшение фитосанитарного состояния и повышение плодородия почв |
| Внесение удобрений | Высокие дозы | Оптимальные дозы | Предотвращение загрязнения почв, чистая продукция, уменьшение затрат |
| Внесение пестицидов и гербицидов | Высокие дозы | Оптимальные дозы. Биологические приемы борьбы с сорняками, вредителями и болезнями | Предотвращение загрязнения окружающей среды, повышение качества продукции |
| Сорта | Интенсивные | С заданными параметрами | Продуктивность культуры, близкая к ее биологическому потенциалу |
| Качество продукции | Отвечающее требованиям переработки и рынка | Сбалансированное по всем компонентам | Более высокое качество, экологически чистая продукция |
| Экологический риск | Риск загрязнения | Минимальный риск | Низкая вероятность загрязнения |

При применении высоких технологий учитываются почвенно-климатические и эколого-экономические условия, эффективно используются имеющиеся в хозяйстве ресурсы. Для каждого хозяйства формируется индивидуальный комплекс работ, который не может быть применен на практике другим хозяйством. Необходима максимальная адаптированность к конкретным агроэкосистемам. Результатом перехода к высоким технологиям явилась разработка адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия – это система использования земли определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [2],[3].

Суть АЛСЗ заключается в том, чтобы, проведя анализ, выбрать культуры наиболее подходящие к местному климату, имеющими спрос на рынке, сформировать оптимальную структуру посевных площадей и спланировать комплекс мероприятий по выращиванию сельскохозяйственных культур.

При внедрении адаптивно-ландшафтной системы земледелия в деятельность хозяйства требуется большое количество информации. Изменение одного исходного показателя может в корне поменять список проводимых мероприятий, также неудобно пользоваться бумажными картами. Внедрение подобных систем сопряжено с проведением большого количества расчетов и оценок и требует постоянной работы высококвалифицированных специалистов. Применение системы поддержки принятия решений (СППР) для реализации адаптивно-ландшафтной системы земледелия позволит осуществить этот переход более эффективно.

Современный рынок СППР [4] не предоставляет пользователям готовые программные продукты, реализующие функционал, необходимый сельхозпредприятиям. Поэтому моделирование и разработка системы поддержки принятия решений для реализации АЛСЗ является актуальной задачей.

Моделируемая система поддержки принятия решений включает в себя совокупность алгоритмов и методов, которые обеспечивают сбор, накопление и хранение данных, обработку данных и формирование программ реализации агротехнологий [5, С.42], [6].

Разработка модели такой СППР предполагает реализацию следующих шагов:

- 1) построение архитектуры системы;
- 2) разработку функциональных требований к СППР;
- 3) разработку алгоритмов работы СППР;
- 4) выбор геоинформационной системы для создания и редактирования почвенно-ландшафтных карт.

При построении архитектуры СППР необходимо учитывать, что в структуру такой системы должны входить:

– база знаний [7], [8], хранящая в себе справочные данные, нормативную информацию, все сгенерированные инструкции по выполнению полевых работ, всю информацию, относящуюся к данному хозяйству, полям,

выращиваемым культурам и их сортам, различные типы карт, разработанные посредством ГИС, а также данные о произведенных ранее расчетах и результатах их применения;

– механизм вывода, который содержит математические модели, правила вывода информации, декларативные и процедурные знания. Модели, управляемые знаниями, формируют все элементы агротехнологии и технологию в целом. Модели, управляемые данными, осуществляют прогнозные функции на всех этапах формирования и реализации агротехнологий с использованием информации из базы данных;

– геоинформационная система (ГИС), в которой разрабатываются различные типы карт, загружаются снимки из космоса;

– система приобретения знаний, которая выступает посредником между специалистом и экспертной системой;

– система объяснения решений, предоставляющая пояснения к расчетам, выданным рекомендациям;

– система интерпретации знаний, которая является механизмом, играющим роль интерпретатора, применяющего знания подходящим образом, чтобы получить результат; прогнозирует результаты применения определенного набора действий, осуществляет расчеты и формирует инструкции по выполнению полевых работ;

– система естественно-языкового интерфейса, осуществляющая общение человека с компьютером в режиме диалога, запросы преобразует в результат.

На рисунке 1 представлена архитектура системы поддержки принятия решений.



Рис. 1 – Архитектура системы

Следующим шагом в моделировании системы является разработка функциональных требований, описывающих функциональные возможности разрабатываемой системы. На рисунке 2 представлены функциональные требования к СППР для реализации адаптивно-ландшафтной системы земледелия.

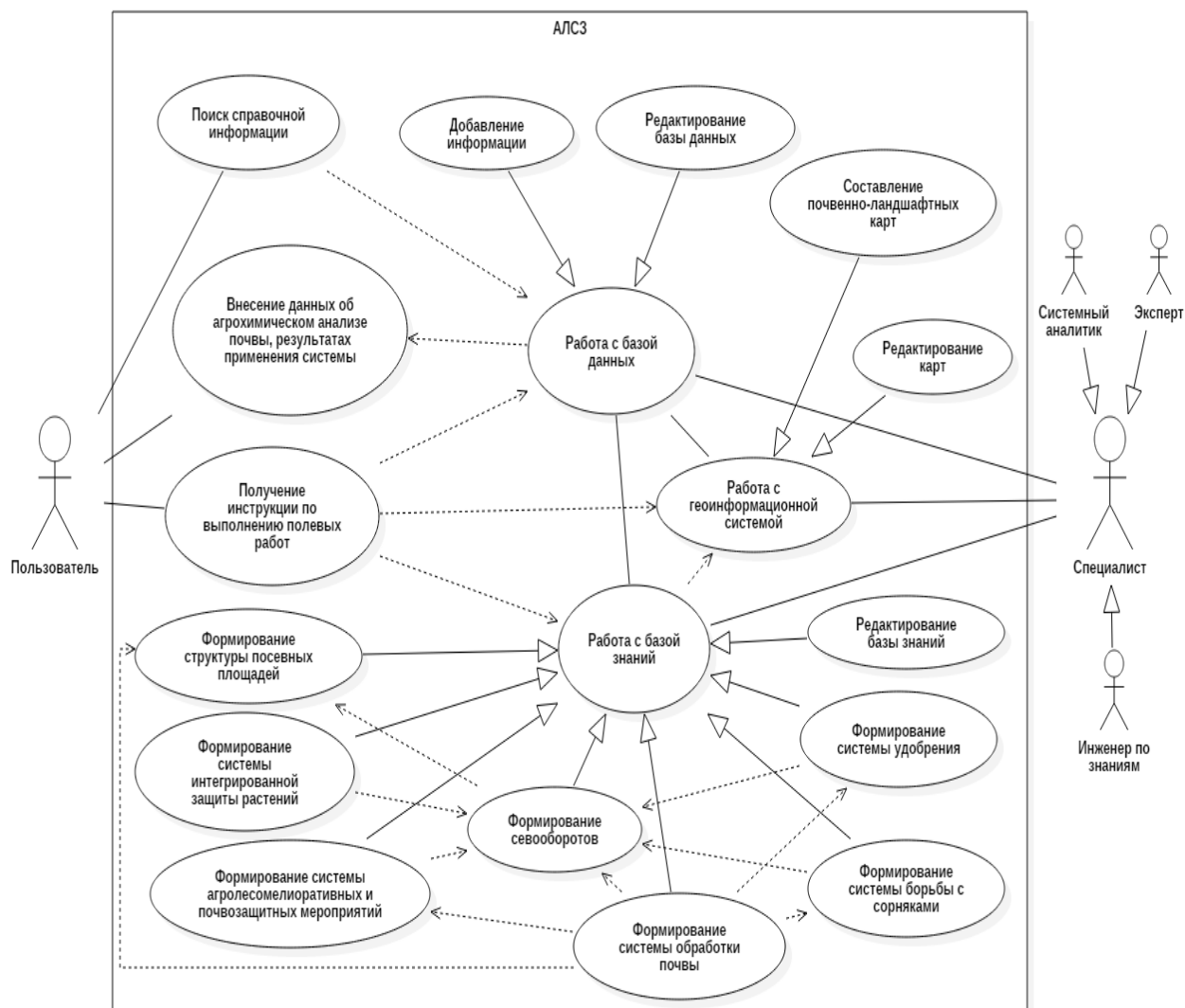


Рис. 2 – Функциональные требования к СППР

Группа специалистов, а именно, инженер по знаниям, системный аналитик и эксперт (агроном, глава хозяйства) работают с базой данных – создают и обновляют справочники, добавляют всю необходимую для работы информацию, нормативные данные; работают с геоинформационной системой – составляют почвенно-ландшафтные карты и редактируют их; а также работают с базой знаний, а именно добавляют математические модели, редактируют базу и задают правила формирования:

- структуры посевных площадей;
- севооборотов;
- системы обработки почвы;
- системы удобрения;
- системы борьбы с сорняками;
- системы интегрированной защиты растений от вредителей и болезней;
- системы агролесомелиоративных и почвозащитных мероприятий.

Пользователь получает инструкции по выполнению полевых работ, может обращаться за справочной информацией, а также вносить данные о проведенном агрохимическом анализе почвы, результатах применения системы, например, информации о собранном урожае.

На следующем шаге разрабатываются алгоритмы работы подсистем: формирования структуры посевных площадей, севооборотов, обработки почвы и т.д.

Рассмотрим один из разработанных алгоритмов – алгоритм формирования севооборота. Для того чтобы сформировать севооборот необходимо проанализировать агроландшафтные и организационно-экономические условия конкретного хозяйства, результатом чего будет определение специализации полеводства хозяйства [9]. Далее необходимо выбрать культуры для возделывания. Следующим шагом является определение ориентировочной структуры посевных площадей. После того как определена структура посевных площадей, необходимо выбрать метод определения площади севооборота. После проведенного расчета предстоит выбрать схему севооборота. Далее выбирается вариант территориальной организации схемы севооборота. Завершающим действием является сопоставление структуры посевных площадей – ориентировочной и по выбранной схеме севооборота. Если они совпадают, то севооборот применяется на практике, иначе – повторяются шаги от определения ориентировочной структуры посевных площадей до тех пор, пока не совпадут площади по структуре и схеме севооборота. Алгоритм формирования севооборотов представлен на рисунке 3.

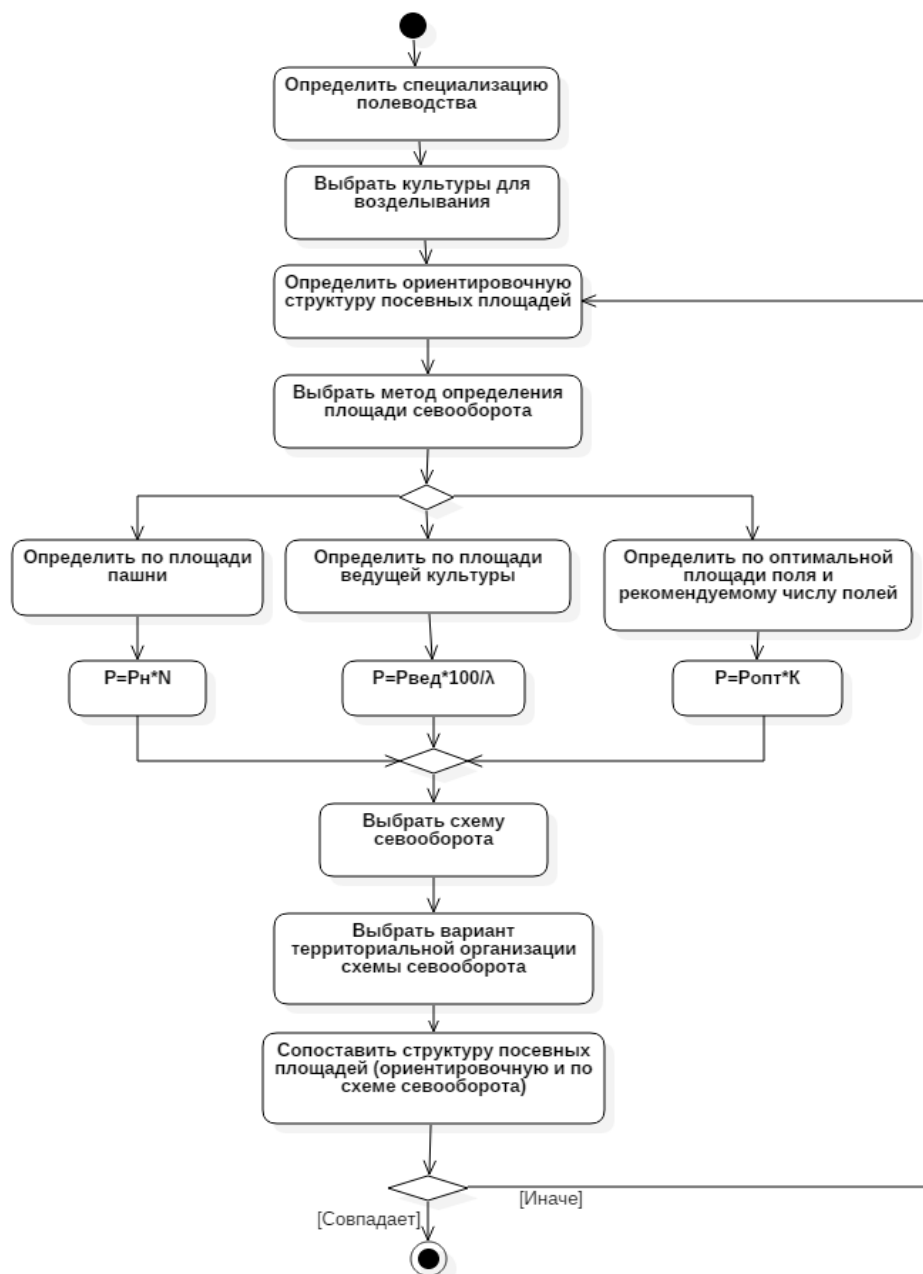


Рис. 3 – Алгоритм формирования севооборотов: P – площадь севооборота; P_n – площадь пашни с заданным составом культур, приходящаяся на одного механизатора; N – число механизаторов; $P_{вед}$ – площадь ведущей культуры; λ – доля ведущей культуры в севообороте; $P_{опт}$ – оптимальная площадь поля; K – число полей в рекомендуемой схеме чередования культур

Аналогичным образом были разработаны все требуемые для работы системы поддержки принятия решений алгоритмы с учетом современных агроэкологических и агротехнологических требований.

На последнем шаге построения модели осуществляется выбор геоинформационной системы, которую необходимо включить в СППР для создания и редактирования почвенно-ландшафтных карт [10].

Таким образом, разработана модель системы поддержки принятия решений для реализации адаптивно-ландшафтной системы земледелия, обеспечивающей экологическую устойчивость и воспроизводство почвенного плодородия. На основе предложенной модели будет построена СППР, применение которой в сельском хозяйстве позволит не только упростить внедрение АЛСЗ, но и повысить качество и обоснованность принимаемых решений по выбору комплекса сельскохозяйственных работ, адаптированных к конкретным агроландшафтам.

Список литературы / References

1. Стратегия социально-экономического развития АПК РФ на период до 2020 года [электронный ресурс] // ФГБНУ ФНЦ ВНИИ экономики сельского хозяйства. – URL: http://www.vniiesh.ru/documents/document_9509_Стратегия%20АПК%202020.pdf (дата обращения: 06.03.2017).
2. Адаптивно-ландшафтное земледелие [электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Адаптивно-ландшафтное_земледелие (дата обращения: 11.09.2017).
3. Основы адаптивно-ландшафтной системы земледелия [электронный ресурс] // КГАУ имени И. Т. Трубилина – URL: <http://kubsau.ru/upload/iblock/9ba/9bab9809a130de617cb1cd310655bf84.pdf> (дата обращения: 11.03.2017).

4. Система поддержки принятия решений [электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_поддержки_принятия_решений (дата обращения: 16.03.2017).
5. Уринцов А.И. Системы поддержки принятия решений / А.И. Уринцов, В.В. Дик. – М.: МЭСИ, 2008. – 230 с.
6. Назначение систем поддержки принятия решений [электронный ресурс] // Инфопедия. – URL: <http://infopedia.su/15xe7f.html> (дата обращения: 26.08.2017).
7. Управление базами знаний [электронный ресурс] // Управление знаниями. – URL: <https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/inzeneria-znaniy/bazy-znaniy> (дата обращения: 21.03.2017).
8. Модели знаний. Компоненты экспертных систем [электронный ресурс] // РефРФ. – URL: http://referatwork.ru/IT_lections/section-11.html (дата обращения: 21.03.2017).
9. Организация системы севооборотов [электронный ресурс] // files.cdml/АПК – URL: <https://files.cdml.ru/IPK/baza/2015/10%20-%20октябрь/5.%20Организация%20севооборотов.pdf> (дата обращения: 25.03.2017).
10. Кирюшин В.И. Применение ГИС-технологий при картографировании и проектировании агроландшафтов [электронный ресурс] / В.И. Кирюшин, И.В. Слива // Известия ОГАУ. – 2005. – № 5-1. – С.8-12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gis-tehnologiy-pri-kartografirovanii-i-proektirovanii-agrolandshaftov> (дата обращения: 28.03.2017).

Список литературы на английском языке/References in English

1. Strategija social'no-jekonomicheskogo razvitija APK RF na period do 2020 goda [Strategy for socio-economic development of agroindustrial complex of the Russian Federation for the period till 2020] [Electronic resource] // RUSSIAN Federal scientific center research Institute of agricultural Economics. – URL: http://www.vniies.ru/documents/document_9509_Стратегия%20АПК%202020.pdf (accessed: 06.03.2017). [in Russian]
2. Adaptivno-landshaftnoe zemledelie [The adaptive-landscape agriculture] [Electronic resource] // Vikipedija – svobodnaja jenciklopedija. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Адаптивно-ландшафтное_земледелие (accessed: 11.09.2017). [in Russian]
3. Osnovy adaptivno-landshaftnoj sistemy zemledelija [The basics adaptive-landscape systems of agriculture] [Electronic resource] // KSAU behalf of I. T. Trubilin. – URL: <http://kubsau.ru/upload/iblock/9ba/9bab9809a130de617cb1cd310655bf84.pdf> (accessed: 11.03.2017). [in Russian]
4. Sistema podderzhki prinjatija reshenij [Decision Support System] [Electronic resource] // Wikipedia – the free encyclopedia. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_поддержки_принятия_решений (accessed: 16.03.2017). [in Russian]
5. Urincov A.I. Sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Decision Support System] / A.I.Urincov, V.V.Dik. – М.: MESI, 2008. – 230 p. [in Russian]
6. Naznachenie sistem podderzhki prinjatija reshenij [The target decision support system] [Electronic resource] // Infopedia. – URL: <http://infopedia.su/15xe7f.html> (accessed: 26.08.2017). [in Russian]
7. Upravlenie bazami znaniy [The knowledge management] [Electronic resource] // Knowledge management. – URL: <https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/inzeneria-znaniy/bazy-znaniy> (accessed: 21.03.2017). [in Russian]
8. Modeli znaniy. Komponenty jekspertnyh system [The models of knowledge. The components of expert systems] [Electronic resource] // RefRF. – URL: http://referatwork.ru/IT_lections/section-11.html (accessed: 21.03.2017). [in Russian]
9. Organizacija sistemy sevooborotov [The organization of system of crop rotations] [Electronic resource] // files.cdml/IPK – URL: <https://files.cdml.ru/IPK/baza/2015/10%20-%20октябрь/5.%20Организация%20севооборотов.pdf> (accessed: 25.03.2017). [in Russian]
10. Kirjushin V.I. Primenenie GIS-tehnologij pri kartografirovanii i projektirovanii agrolandshaftov [The application of GIS technologies for mapping and the design of agricultural landscapes] [Electronic resource] / V.I. Kirjushin, I.V. Sliva // News of the OSAU. – 2005. – № 5-1. – P.8-12 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gis-tehnologiy-pri-kartografirovanii-i-proektirovanii-agrolandshaftov> (accessed: 28.03.2017). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.083>Евич Л.Н.¹, Остроух Е.Н.², Панасенко П.А.³

¹ ORCID: 0000-0002-7886-0954, кандидат физико-математических наук, доцент, ² кандидат технических наук, доцент, Донской государственный технический университет, Россия, Ростов-на-Дону;

³ кандидат технических наук,

Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко, Россия, Краснодар;

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

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ С НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИЕЙ

Аннотация

Рассматриваются популяционные алгоритмы задачи глобальной оптимизации с нелинейной целевой функцией. Представлен сравнительный анализ алгоритма искусственной пчелиной колонии и гибридного алгоритма искусственной пчелиной колонии с гравитационным алгоритмом. Произведен анализ производительности работы алгоритмов на основе сферической функции, функций Розенброка, Гривонка, Растргина, Швевеля. Подтверждена эффективность рассмотренного гибридного алгоритма по сравнению с алгоритмом искусственной пчелиной колонии.

Ключевые слова: алгоритмы оптимизации, гибридные алгоритмы, алгоритм искусственной пчелиной колонии, гравитационный алгоритм.

Evich L.N.¹, Ostroukh E.N.², Panasenko P.A.³

¹ ORCID: 0000-0002-7886-0954, PhD in Physics and Mathematics, Associate professor,

² PhD in Engineering, Associate professor,

Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don;

³ PhD in Engineering,

Krasnodar Higher Military School named after S.M. Shtemenko, Russia, Krasnodar;

The work was supported by the grant of RFNНNН and FI No. 16-01-00391 "Development of combined algorithms for the solution of distribution and transport problems with the use of the idea of artificial immune systems and bioinspired algorithms"

DEVELOPMENT OF HYBRID ALGORITHM FOR SOLUTION OF OPTIMIZATION PROBLEM WITH NONLINEAR TARGET FUNCTION

Abstract

The paper considers population algorithms of a global optimization problem with a nonlinear objective function. A comparative analysis of the algorithm of an artificial bee colony and the hybrid algorithm of an artificial bee colony with a gravitational algorithm is presented. The authors analyzed the performance of the algorithms based on the spherical function, Rosenbrock, Grivonck, Rastrigin, and Schwefel functions. The efficiency of the considered hybrid algorithm is confirmed in comparison with the algorithm of the artificial bee colony.

Keywords: optimization algorithms, hybrid algorithms, artificial bee colony algorithm, gravitational algorithm.

Введение

Одним из направлений развития решения задач поисковой оптимизации с нелинейной целевой функцией является гибридизация различных поисковых алгоритмов. На сегодняшний день известно большое количество различных гибридных алгоритмов с различными реализациями стратегий гибридизации. В работах Рендерса (J. Renders) предложены гибридные методы с использованием генетических алгоритмов глобальной оптимизации [1], [2]. Свое дальнейшее развитие гибридные алгоритмы получили при изучении сочетания разнообразных моделей с различными методами в работах [3], [4], [5], [6].

Целью гибридизации алгоритмов является использование сильных сторон каждого из участвующих в нем алгоритмов. В настоящей работе рассматривается интегративная стратегия последовательной гибридизации типа процессор/постпроцессор. В качестве препроцессора выступает алгоритм искусственной пчелиной колонии (Artificial bee colony, ABC), обеспечивающий широту (диверсификацию) поиска. Алгоритм гравитационного поиска (Gravitational Search Algorithm, GSA) по сравнению со многими генетическими алгоритмами имеет большую скорость сходимости (интенсификацию поиска). В то же время, при оптимизации мультимодальных функций метод быстро сходится к локальному оптимуму. В связи с этим гибридизация алгоритма пчелиной колонии с гравитационным алгоритмом позволит, с одной стороны за счет широты поиска на первых итерациях определить зоны локальных минимумов, и на втором этапе осуществить быстрый поиск глобального оптимума. Переход от пчелиного к гравитационному алгоритму осуществляется после выполнения t итераций алгоритма роя пчел. Гравитационный алгоритм позволяет оптимизировать локальные экстремумы, найденные в результате выполнения алгоритма роя пчел. На основе анализа проводится сравнительная характеристика ABC алгоритма с гибридным алгоритмом (ABCGSA).

Постановка задачи и её решение на основе гибридных алгоритмов.

Рассмотрим детерминированную задачу оптимизации

$$\min_{X \in R^{|X|}} f(X) = f(X^*) = f^*,$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_{|X|})$ вектор варьируемых параметров размерности $|X|$; $R^{|X|}$ — $|X|$ -мерное арифметическое пространство; $f(X)$ — целевая функция; X^* — искомое оптимальное решение; f^* — искомое экстремальное значение целевой функции.

Основные понятия пчелиного алгоритма. Самые ранние упоминания о пчелином алгоритме датируются 2005 г. в работах Карабога (D. Karaboga) [7] и Фама (D. Pham) [8]. Позже алгоритм неоднократно модифицировался и применялся для решения различных задач оптимизации и синтеза [9], [10], [11], [12, С. 179], [13]. В основе алгоритма лежат принципы поведения роя пчел в поисках местности с наибольшим количеством источников нектара. Некоторое количество пчел-разведчиков начинают поиск со случайных направлений и с некоторыми случайными векторами скоростей. Каждая пчела-разведчик запоминает места с наибольшей концентрацией источников нектара и по возвращении в улей сообщает о них другим пчелам колонии. На найденные участки отправляются рабочие пчелы. Количество рабочих пчел, вылетающих в каждом направлении, может зависеть от перспективности участка. Пчелы, облетая разные участки, сравнивают новые места с местами найденными ими ранее. При этом скорость полета пчел увеличивается в направлении участков с наибольшим количеством источников нектара. В итоге, весь рой сосредотачивается на участке с наибольшим количеством источников нектара. Отбор перспективных (с максимальным и близкими к ним значениями источников нектара) участков осуществляется на основе фитнес-функции, которая учитывает свойства каждой пчелы.

Основные понятия гравитационного алгоритма. Гравитационный алгоритм был впервые предложен Рашеди (E. Rashedi) в 2009 г. [14]. На сегодняшний день гравитационный алгоритм исследован в меньшей мере. Как правило, в работах различных авторов используется только его основная концепция [15], [16], [17]. Данный алгоритм базируется на законах гравитации и взаимодействия масс. Закон гравитации используется в некоторой модификации. В частности, полагается, что сила F гравитационного притяжения между двумя частицами массами m_1 и m_2 прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна расстоянию R между ними: $F_{ij} = G \frac{m_i m_j}{R_{ij}}$.

В алгоритме с ростом числа итераций гравитационную постоянную $G(t)$ уменьшают согласно закону: $G(t) = G(t_0) \left(\frac{1}{t}\right)^\beta$, где $G(t_0)$ — значение гравитационной постоянной в начальный момент времени, β — свободный параметр алгоритма ($\beta \in (0,1)$), используется для контроля точности.

Ускорение a , приобретаемое частицей, прямо пропорционально силе гравитационного притяжения, и обратно пропорционально массе частицы:

$$a_i = \frac{F_{ij}}{m_i}.$$

Последовательная гибридизация пчелиного алгоритма с гравитационным алгоритмом (ABCGSA). Переключение алгоритмов производится после завершения $t1$ итераций алгоритма препроцессора. Далее в качестве стартовых точек алгоритма постпроцессора выбираем точки, полученные на последнем шаге предшествующего алгоритма с предварительным отсеиванием близких (находящихся в области одного и того же экстремума).

Схема алгоритма состоит из следующих шагов:

1.1. Задаем начальные значения свободным параметрам пчелиного алгоритма. Обозначим через N — количество особей в колонии, m — количество пчел-разведчиков, s — количество рабочих пчел ($m+s=N$).

1.2. Случайным образом задаем m начальных точек, соответствующих начальным положениям пчел в начальный момент времени $t = 0$, $X(0) = (X_1(0), X_2(0), \dots, X_m(0))$, заданных в пространстве $R^{|X|}$.

1.3. Вычисляем в этих точках значение фитнес-функции

$$\varphi(X_i(0)) = \varphi_i^*(0) = \begin{cases} \frac{1}{1 + f(X_i(0))}, & \text{если } f(X_i(0)) \geq 0, \\ \frac{1}{1 + abs(f(X_i(0)))}, & \text{если } f(X_i(0)) < 0. \end{cases}$$

Сортируем полученные значения по убыванию.

Точки X_i , $i \in [1, k_1]$ соответствующие в отсортированной последовательности фитнес-функций первым k_1 элементам будем называть центрами элитных участков. Точки, соответствующие следующим k_2 ($k_1 < k_2$) элементам — центрами перспективных участков, остальным $t = m - k_2$ элементам — центрами бесперспективных участков. Каждый участок будем определять как множество значений фитнес-функции в гиперкубах пространства $R^{|X|}$ с ребрами $2r_i$, $i \in [1, m]$.

В случае, когда полученные участки пересекаются, то есть если евклидово расстояние между центрами этих участков $\|X_{j_1} - X_{j_2}\| \leq r_i$, $j_1, j_2, i \in [1, m]$, $j_1 \neq j_2$, оставляем из них один, исключая из рассмотрения участок с наименьшим значением фитнес-функции. Бесперспективные участки также исключаем из дальнейшего рассмотрения. Если значение фитнес-функции в некоторой окрестности, не улучшается в течение заданного количества испытаний (limit), то такой участок также исключаем из дальнейшего рассмотрения, а занятая на этом участке пчела становится разведчиком.

1.4. В случайные точки каждого из k_1 элитных участков и k_2 перспективных участков посылаем соответственно по n_1 и n_2 рабочих пчел. При этом $n_1 k_1 + n_2 k_2 = s + t$. В новые случайные участки отправляем m пчел-разведчиков.

Скорость перемещения каждой пчелы в соответствующем направлении вычисляем согласно уравнению $v_{ij} = x_{ij} + \rho(x_{ij} - x_{kj})$,

где $i, k \in \{1 \dots N\}$, $i \neq k$; $k, j \in \{1 \dots |X|\}$; x_{ij} — текущая координата пчелы, ρ — случайное число в диапазоне $[-1, 1]$ для управления перехода в соседние решения, расположенные около x_{ij} . Вычисляем в этих точках значения фитнес-функции.

1.4. Если выполнено $t1$ итераций, переходим к шагу 2, в противном случае, переходим к шагу 1.3.

2. Задаем начальные параметры гравитационного алгоритма: максимальное количество итераций $t2=t1$; количество частиц N — соответствует количеству пчел колонии. Определяем значения коэффициентов, необходимых для вычисления сил гравитационного взаимодействия: $\beta, G(t_0)$.

2.1. Генерируем систему частиц гравитационного алгоритма. В качестве начальной популяции частиц гравитационного алгоритма, выбираем N векторов, соответствующих точкам, отобраным после выполнения $t1$ итераций алгоритма ABC.

$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^h, \dots, x_i^N)$, где x_i^h — позиция частицы.

2.2. Значение гравитационной постоянной уменьшаем с ростом числа итераций по формуле:

$$G(t) = G(0) \exp\left(-\beta \frac{t}{T}\right),$$

где β — свободный параметр алгоритма, t — текущая итерация, T — максимальное число итераций.

Для простоты полагаем, что пассивная $M_{pi}(t)$, активная $M_{ai}(t)$ и инерциальная $M_{ii}(t)$ массы совпадают:

$$M_{pi}(t) = M_{ai}(t) = M_{ii}(t) = M_i(t).$$

2.3. Определяем значения скоростей и ускорений частиц:

$$v_i(t+1) = (\zeta_1, \dots, \zeta_N) * v_i(t) + \frac{F_i(t)}{M_i(t)},$$

где $*$ — операция покомпонентного умножения векторов, ζ_i — случайная величина, равномерно распределенная на промежутке $(0, 1)$.

2.4. Осуществляем пересчет частиц по формуле

$$X_i(t+1) = X_i(t) + v_i(t+1).$$

2.5. Пересчитываем значения масс: $M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{i=1}^N m_i(t)}$,

$$\text{где } m_i(t) = \frac{f(X_i) - \max_{j \in 1, \dots, N} f(X_j)}{\min_{j \in 1, \dots, N} f(X_j) - \max_{j \in 1, \dots, N} f(X_j)}.$$

2.6. Повторяем итерации 2.1-2.5, пока не выполнится критерий останова.

Результаты экспериментальных исследований.

Вычислительные эксперименты проводились на основе пяти тестовых функций:

F1. Сферическая функция (Sphere function): $f(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2$.

Функция имеет один глобальный минимум, равный 0, при $x_i = 0$, $i = \overline{1, D}$. Границы поиска $(-100; 100)^D$.

F2. Функция Розенброка (Rosenbrock function):

$$f(x) = \sum_{i=1}^{D-1} [(1 - x_i)^2 + 100(x_{i+1} - x_i^2)^2].$$

Функция имеет глобальный минимум, равный 0, при $x_i = 1$, $i = \overline{1, D}$. Границы поиска $(-100; 100)^D$.

F3. Функция Растригина (Rastrigin function):

$$f(x) = 10D + \sum_{i=1}^D (x_i^2 - 10 \cdot \cos(2\pi x_i)).$$

Функция имеет глобальный минимум, равный 0, при $x_i = 0$, $i = \overline{1, D}$. Границы поиска $(-5, 12; 5, 12)^D$.

F4. Функция Гривонка (Griewank function):

$$f(x) = 1 + \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^{Dn} x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right).$$

Функция имеет глобальный минимум, равный 0, при $x_i = 0$, $i = \overline{1, D}$. Границы поиска $(-600; 600)^D$.

F5. Функция Швевеля (Schwefel function):

$$f(x) = 418,9828D - \sum_{i=1}^D [x_i \cdot \sin(\sqrt{|x_i|})].$$

Функция имеет глобальный минимум, равный 0, при $x_i = 420.9687$, $i = \overline{1, D}$. Границы поиска $(-500; 500)^D$.

Эффективность гибридного алгоритма ABCGSA рассматривалась на основе сравнения с алгоритмом ABC. При тестировании алгоритмов использовались одни и те же параметры. Для ABC: количество особей в колонии $N=100$, пчел-разведчиков $m = N/2$, limit = 100. Максимальное количество циклов для ABC алгоритма $t = 2000$. Для GSA: значение гравитационной постоянной $G(0)=100$, $\beta = 20$. Максимальное количество циклов для ABCGSA алгоритма $t = 2000$. Переход от ABC к GSA осуществлялся после $t/2$ итераций. Тестирование проводилось для размерностей $D=50, 100$.

В каждом случае значения усреднялись по результатам 30 прогонов. В таблице 1 представлены результаты работы алгоритмов для пяти тестовых функций. Здесь «SrMin» — среднее минимальное значение функции, «StdDev» — стандартное отклонение функции.

Таблица 1 – Результаты вычислительных экспериментов для тестовых функций

| Функция | Алгоритм | Размерность, D | | | |
|---------|----------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 50 | | 100 | |
| | | SrMin | StdDev | SrMin | StdDev |
| F1 | ABC | 3,065E-14 | 8.513E-13 | 1,065E-10 | 1.533E-08 |
| | ABCGSA | 8,244E-16 | 4,336E-17 | 3,514E-13 | 1,732E-12 |
| F2 | ABC | 4,372E+01 | 2.653E+01 | 4,384E+01 | 3.212E+01 |
| | ABCGSA | 8,163E-01 | 6,125E-01 | 1,018E+00 | 1,704E+00 |
| F3 | ABC | 1,603E-04 | 2.643E-05 | 5,986E-00 | 9.261E+00 |
| | ABCGSA | 0,0E+00 | 0,0E+00 | 2,557E-10 | 6,710E-08 |
| F4 | ABC | 3,408E-11 | 5.584E-06 | 1,509E-07 | 4.326E-04 |
| | ABCGSA | 7,216E-16 | 5,344E-16 | 2,114E-14 | 1,562E-14 |
| F5 | ABC | 7,269E-01 | 5.573E-01 | 1,734E+02 | 1.943E+02 |
| | ABCGSA | 4,364E-08 | 5,374E-05 | 2,784E-02 | 8,322E-01 |

Выводы

Результаты исследований показали, что для рассмотренных параметров гибридный алгоритм *ABCGSA* по сравнению с алгоритмом *ABC* позволяет значительно улучшить точность решений. Для дальнейших исследований данного гибридного алгоритма представляет интерес сравнительный анализ влияния количества итераций, через которое осуществляется переход от алгоритма *ABC* к гравитационному алгоритму, на сходимость и точность результатов вычисления, а также исследование зависимости изменения оптимального решения от параметров рассматриваемых алгоритмов.

Список литературы / References

1. Renders J. M. Hybridizing genetic algorithms with hill-climbing methods for global optimization: two possible ways / Renders J. M., Bersini H. // *Evolutionary Computation*, 1994. IEEE World Congress on Computational Intelligence, Proceedings of the First IEEE Conference on. 1, –1994. – P. 312-317.
2. Renders J. M. Hybrid methods using genetic algorithms for global optimization / Renders J. M., Flasse S. P. // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. – 1996. – V. 26. – №. 2. – P. 243-258.
3. Chiou J. P. Hybrid method of evolutionary algorithms for static and dynamic optimization problems with application to a fed-batch fermentation process / Chiou J. P., Wang F. S. // *Computers & Chemical Engineering*. – 1999. – V. 23. – №. 9. – P. 1277-1291.
4. Juang C. F. A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for recurrent network design / Juang C. F. // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. – 2004. – V. 34. – №. 2. – P. 997-1006.
5. Xia W. An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems / Xia W., Wu Z. // *Computers & Industrial Engineering*. – 2005. – V. 48. – №. 2. – P. 409-425.
6. Argáez M. A Hybrid Algorithm for Global Optimization Problems / Argáez M., Velázquez L., Quinte C. // *Reliable Computing*. – 2011. – V. 15. – №. 3. – P. 230-241.
7. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization / Karaboga D. // *Technical Report-TR06*, Erciyes University, engineering faculty, computer engineering department. – 2005. – V. 200. – P. 1-10.
8. Pham D. T. The bees algorithm. Technical note / Pham D. T., Ghanbarzadeh A., Koc E. et al // *Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK*. – 2005. – P. 1-57.
9. Pham D. T. The bees algorithm: modelling foraging behaviour to solve continuous optimization problems / Pham D. T., Castellani M. // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. – 2009. – V. 223. – №. 12. – P. 2919-2938.
10. Pham D. T. et al. Application of the bees algorithm to the training of radial basis function networks for control chart pattern recognition / Pham D. T., Ghanbarzadeh A., Koc E. et al // *Proceedings of 5th CIRP international seminar on intelligent computation in manufacturing engineering (CIRP ICME'06)*, Ischia, Italy. – 2006. – P. 711-716.
11. Курейчик В. М. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач / Курейчик В. М., Кажаров А. А. // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. – 2011. – Т. 120. – №. 7. – С. 30-36.
12. Гладков Л. А. Биоспирированные методы в оптимизации / Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. и др. // *М.: Физмалит*. – 2009. – 384 с.
13. Davidović T. Bee colony optimization Part I: The algorithm overview / Davidović T. // *Yugoslav Journal of Operations Research*. – 2016. – Т. 25. – №. 1. – P. 33-56.
14. Rashedi E. GSA: a gravitational search algorithm / Rashedi E., Nezamabadi-Pour H., Saryazdi S. // *Information sciences*. – 2009. – V. 179. – №. 13. – P. 2232-2248.
15. Карпенко А. П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов / Карпенко А. П. // *Информационные технологии*. – 2012. – №. S7. – P. 1-32.
16. Mirjalili S. A. Training feedforward neural networks using hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm / Mirjalili S. A., Hashim S. Z. M., Sardroudi H. M. // *Applied Mathematics and Computation*. – 2012. – V. 218. – №. 22. – P. 11125-11137.
17. Смирнова О. С. Описание роевых алгоритмов, инспирированных неживой природой и бактериями, для использования в онтологической модели / Смирнова О. С., Богорадникова А. В., Блинов М. Ю. // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2015. – Т. 3. – №. 12. – С. 28-35.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Renders J. M. Hybridizing genetic algorithms with hill-climbing methods for global optimization: two possible ways / Renders J. M., Bersini H. // *Evolutionary Computation*, 1994. IEEE World Congress on Computational Intelligence, Proceedings of the First IEEE Conference on. 1, –1994. – P. 312-317.
2. Renders J. M. Hybrid methods using genetic algorithms for global optimization / Renders J. M., Flasse S. P. // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. – 1996. – V. 26. – №. 2. – P. 243-258.
3. Chiou J. P. Hybrid method of evolutionary algorithms for static and dynamic optimization problems with application to a fed-batch fermentation process / Chiou J. P., Wang F. S. // *Computers & Chemical Engineering*. – 1999. – V. 23. – №. 9. – P. 1277-1291.
4. Juang C. F. A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for recurrent network design / Juang C. F. // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. – 2004. – V. 34. – №. 2. – P. 997-1006.
5. Xia W. An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems / Xia W., Wu Z. // *Computers & Industrial Engineering*. – 2005. – V. 48. – №. 2. – P. 409-425.
6. Argáez M. A Hybrid Algorithm for Global Optimization Problems / Argáez M., Velázquez L., Quinte C. // *Reliable Computing*. – 2011. – V. 15. – №. 3. – P. 230-241.
7. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization / Karaboga D. // *Technical Report-TR06*, Erciyes University, engineering faculty, computer engineering department. – 2005. – V. 200. – P. 1-10.

8. Pham D. T. The bees algorithm. Technical note / Pham D. T., Ghanbarzadeh A., Koc E. et al // Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK. – 2005. – P. 1-57.
9. Pham D. T. The bees algorithm: modelling foraging behaviour to solve continuous optimization problems / Pham D. T., Castellani M. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. – 2009. – V. 223. – №. 12. – P. 2919-2938.
10. Pham D. T. et al. Application of the bees algorithm to the training of radial basis function networks for control chart pattern recognition / Pham D. T., Ghanbarzadeh A., Koc E. et al // Proceedings of 5th CIRP international seminar on intelligent computation in manufacturing engineering (CIRP ICME'06), Ischia, Italy. – 2006. – P. 711-716.
11. Kureichik V. M. Ispol'zovaniye royevogo intellekta v reshenii NP-trudnykh zadach [Use of swarm intelligence in solving NP-difficult problems] / Kureichik V.M., Kazharov A.A. // Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki [Izvestiya Southern Federal University. Technical science]. – 2011. – V. 120. – №. 7. – P. 30-36. [in Russian]
12. Gladkov L. A. Bioinspirirovannyye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization] / Gladkov L.A., Kureichik V.V., Kureichik V.M., Sorokoletov P.V. // M.: Fizmatlit. – 2009. – 384 P. [in Russian]
13. Davidović T. Bee colony optimization Part I: The algorithm overview //Yugoslav Journal of Operations Research. – 2016. – T. 25. – №. 1.
14. Rashedi E., Nezamabadi-Pour H., Saryazdi S. GSA: a gravitational search algorithm //Information sciences. – 2009. – T. 179. – №. 13. – C. 2232-2248.
15. Karpenko A. P. Populyatsionnyye algoritmy global'noy poiskovoy optimizatsii. Obzor novykh i maloizvestnykh algoritmov [Population algorithms of global search engine optimization. Review of new and little-known algorithms] / Karpenko A. P. // Informatsionnyye tekhnologii [Information technology]. – 2012. – №. S7. – P. 1-32.
16. Mirjalili S. A., Hashim S. Z. M., Sardroudi H. M. Training feedforward neural networks using hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm //Applied Mathematics and Computation. – 2012. – T. 218. – №. 22. – C. 11125-11137.
17. Smirnova O.S. Opisaniye royevykh algoritmov, inspirirovannykh nezhyvoy prirodoy i bakteriyami, dlya ispol'zovaniya v ontologicheskoy modeli [Description of swarm algorithms inspired by inanimate nature and bacteria for use in the ontological model] / Smirnova O.S., Bogoradnikova A.V., Blinov M. Yu. // International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – T. 3. – №. 12.



Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент ScienceIndex.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.101>Евтихьева О.А.¹, Мьо Мьинт Ньен², Скорнякова Н.М.³¹ кандидат технических наук, проф., зав. кафедрой физики им. В.А. Фабриканта² аспирант кафедры физики им. В.А. Фабриканта³ кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физики им. В.А. Фабриканта

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ НА КАРТИНЫ ТЕНЕВОГО
ФООНОВОГО МЕТОДА****Аннотация**

Разработаны компьютерные модели влияния дефектов оптических деталей на изображения теневого фонового метода. При моделировании за критерий наличия дефекта принято изменение оптического хода лучей. Показаны результаты оконной кросскорреляционной обработки смоделированных изображений. Получены поля смещения точек фонового экрана при наличии различных дефектов: мелких и крупных царапин, свилей, напряжений материала и т.п. Полученные векторные поля смещения точек фонового экрана показывают возможность разработки физически реализуемых методов контроля качества оптических деталей на основе теневого фонового метода.

Ключевые слова: теневой фоновый метод, качество оптических деталей, кросскорреляционная обработка.

Evtikhieva O.A.¹, Mio Myint Nien², Skornyakova N.M.³¹ PhD in Engineering, Prof. of the Department of Physics named after V.A. Fabricant,² Postgraduate student of the Department of Physics named after V.A. Fabricant,³ PhD in Engineering, Associate professor, Associate professor of the Department of Physics named after V.A. Fabricant, Moscow Power Engineering Institute (National Research University)**SIMULATION OF INFLUENCE OF DEFECTS IN OPTICAL COMPONENTS ON IMAGES OF SHADOW
BACKGROUND METHOD****Abstract**

The computer models of the influence of defects in optical components on images of a shadow background method were developed. The optical path of the ray is taken as the criterion for the presence of a defect in simulation. The results of window cross-correlation processing of simulated images are shown. The fields of displacement of the points of the background screen are obtained in the presence of various defects: small and large scratches, knots, stresses of the material, etc. The obtained vector fields of displacement of the background screen points show the possibility of developing physically realizable methods of quality control of optical components based on the shadow background method.

Keywords: shadow background method, quality of optical parts, cross-correlated processing.

Введение

Качество производимых оптических деталей подлежит жесткому контролю. Вводятся различные классы чистоты для каждого вида оптических деталей. Соответственно, необходима система контроля либо в процессе производства, либо на этапе приемки. Размеры и число допустимых дефектов на поверхности любой оптической детали определено ГОСТ [1, С. 16], [2, С. 64], [3, С. 681]. Там же описаны методы контроля чистоты поверхности детали. Однако предлагаемые методы являются затратными по времени или требуют сложного специального оборудования.

Сравнительно недавно, в 1999 году, был предложен теневой фоновый метод [4, С.181-187], [5, С. 237-247], который позволяет визуализировать градиент показателя преломления детали. Основным достоинством данного метода, в данном случае, являются низкие требования к применяемому оборудованию и возможность построения автоматизированных систем контроля [6, С. 93-105], [8, С. 194-194]. Для определения возможности создания подобных комплексов было произведено моделирование наличия свилей, царапин, сколов, внутренних напряжений и т.п. в оптических деталях и их влияние на картины теневого фонового метода.

Принцип компьютерного моделирования

Любой дефект на поверхности или внутри оптической детали будет проявляться изменением оптического пути проходящего через нее излучения. Соответственно, можно это промоделировать появлением дополнительного градиента показателя преломления.

Принцип теневого фонового метода заключается в регистрации специального фонового экрана без исследуемого объекта и с ним. Фоновый экран представляет собой случайно структурированный набор точек. При появлении некоторого объекта с присутствующим градиентом показателя преломления, изображения точек фонового экрана сместятся.

Таким образом, можно последовательно сформулировать алгоритм моделирования изображений теневого фонового метода и получаемых, в результате кросскорреляционной обработки картин.

1. Генерируется фоновый экран.

2. Задается модель изменения показателя преломления, соответствующая какому-либо дефекту оптических деталей.

3. Выполняется наложение модели показателя преломления на сгенерированное изображение фонового экрана.

4. Выполняется кросскорреляционная обработка для исходного фонового экрана и экрана с наложенным изменением показателя преломления.

Для генерации фоновых экранов разработана и реализована в Mathcad специальная программа. Работа программы реализована следующим образом. Сначала создается пустое белое поле требуемого размера.

Затем с заданным шагом h на него наносятся метки «центров» точек. Метки наносятся с учетом параметра c , который предназначен для устранения краевых эффектов при генерации экранов. Он позволяет делать отступ при

сеточной разметке, и должен выбираться пользователем вручную исходя из средней величины разброса точки. Результатом неправильного выбора параметра s может стать возникновение черных полос по краям экрана.

После этого, исходя из заданной пользователем величины разброса, определяются отклонения (смещения) каждой точки от своего «центра». Эти смещения определяются случайным образом с помощью встроенного генератора случайных чисел с равномерным или гауссовым (нормальным) законом распределения (в зависимости от модификации программы). И, наконец, область вокруг каждой смещенной точки закрашивается черным в соответствии с заданными пользователем размерами точки g и ее параметрами формы p, v .

Для создания экранов с зерном заданной формы и размера, необходимо использовать соответствующую комбинацию этих трех параметров. Так, например, если необходимо создать экран с зерном размером 1 пиксель, то необходимо использовать комбинацию из трех одинаковых цифр ($g, p, v, = 1,1,1; 5,5,5$ и т.д.). Параметры $p-v$ для соответствующего g представлены в табл. 1 [9, С. 31-40].

Таблица 1 – Зависимость параметров точки от ее размеров

| Размер g | $p-v$ |
|------------|--|
| 5 | 3-3 |
| 7 | 5-5, 3-6 |
| 9 | 7-6, 5-7, 3-8 |
| 11 | 9-7, 7-8, 5-9, 3-10 |
| 13 | 11-8, 9-9, 7-10, 5-11, 3-12 |
| 15 | 13-9, 11-10, 9-11, 7-12, 5-13 ... |
| 17 | 13-11, 15-10, 17-9, 11-12, 9-13... |
| 19 | 17-11, 15-12, 13-13, 11-14, 9-15 ... |
| 21 | 19-12, 17-13, 15-14, 13-15, 11-16 ... |
| 23 | 19-14, 17-15, 15-16, 13-17, 21-13 ... |
| 25 | 23-14, 21-15, 19-16, 17-17, 15-18... |
| 27 | 19-18, 21-17, 23-16, 25-15, 17-19... |
| 29 | 19-20, 21-19, 23-18, 25-17, 27-16... |
| ... | |
| g | $(g-2n)-(g+2n+1)/2; \quad n=1,2,3...g/2-1$ |

Исходя из требований к качеству оптических деталей, были разработаны модели изменения показателя преломления от пространственной координаты для мелких и крупных царапин, свилей, напряжений материала вследствие обработки, клиновидности и т.п.

Посредством свертки двух функций, исходного фоновго экрана $I_1(x,y)$ и распределения показателя преломления $n(x, y)$ получаем изображение фоновго экрана при наличии объекта исследования.

Каждое из изображений будет иметь вид дискретных функций $I_1(x,y)$ и $I_2(x,y)$. В процессе обработки оба изображения: опорное (без исследуемого объекта) и измерительное (при наличии объекта) разбиваются на некоторые зоны, называемые областями опроса. Между соответствующими областями производится процедура кросскорреляции. Расчет кросскорреляционного коэффициента будет определяться формулой [10, с. 780]

$$\phi_{I_1 I_2}(m, n) = \sum_{l=-d_y/2}^{d_y/2} \sum_{k=-d_x/2}^{d_x/2} I_1(k, l) \cdot I_2(k + m, l + n), \quad (1)$$

где $d_x \times d_y$ – размер области опроса.

В результате будет получено распределение коэффициента кросскорреляции внутри каждой области опроса. Пример получаемого поля кросскорреляционных коэффициентов представлен на рис. 1.

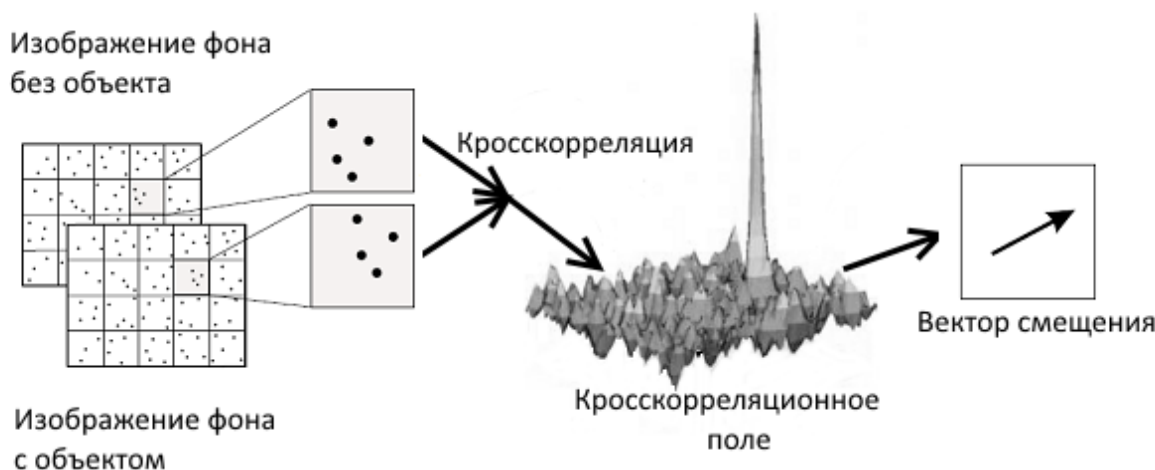


Рис. 1 – Схема алгоритма обработки изображений теневого фоновго метода

С помощью численных методов поиска экстремумов функции нескольких переменных (например, метода координатного спуска или градиентного) определяется положение корреляционного максимума. Вектор, проведенный из центра области опроса к корреляционному максимуму, будет соответствовать смещению точек фонового экрана. В свою очередь, данное смещение пропорционально градиенту показателя преломления наблюдаемого объекта.

Результаты

С помощью алгоритма, рассмотренного в предыдущем разделе, возможно получить картины распределения смещений точек фонового экрана, пропорциональных градиенту показателя преломления.

Самым легко моделируемым дефектом оптических деталей является клиновидность. Ее влияние необходимо диагностировать при производстве плоскопараллельных пластин или просмотровых окон. В этом случае закон изменения показателя преломления от координат является линейным, и, соответственно, в результате будет получено векторное поле линейно увеличивающихся векторов смещения. Результат моделирования данного дефекта представлен на рис. 2.

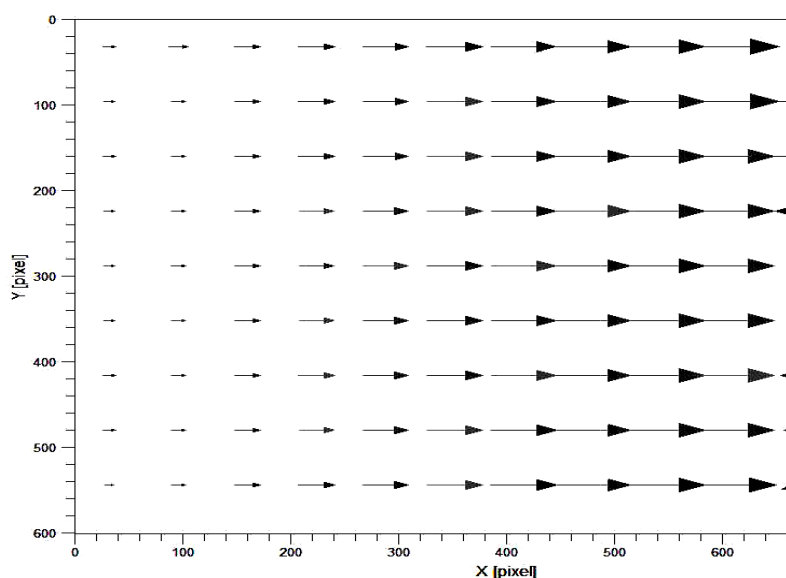


Рис. 2 – Векторное поле смещений при наличии клиновидности

Немного более сложным эффектом, с точки зрения моделирования, является наличие царапин. Фактически это пространственно распространенный провал в зависимости показателя преломления от координаты. Если предположить, что царапина наблюдается на всем пространстве моделирования, то будет получено векторное поле, представленное на рис. 3.

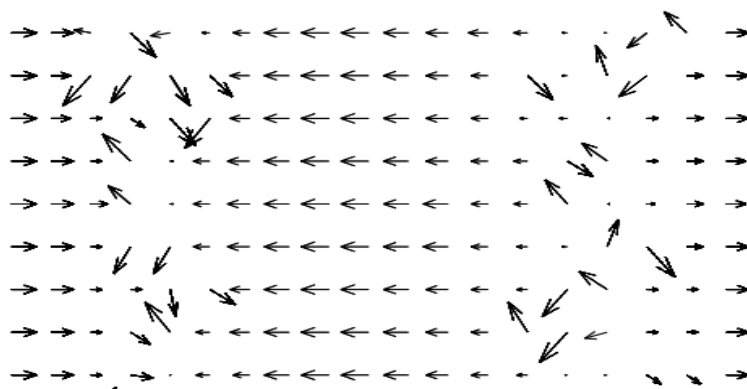


Рис. 3 – Векторное поле смещений при наличии широкой царапины

Можно заметить, что кроме векторов, характеризующих направление изменения градиента показателя преломления, также наблюдаются и ошибочные вектора. Эти вектора проявляются в областях максимума производной зависимости показателя преломления и дополнительно указывают на наличие дефекта в оптической детали.

Еще одной проблемой при оптическом производстве можно считать наличие свилей или пузырьков воздуха внутри оптического стекла. Результаты моделирования данного эффекта представлены на рис. 4.

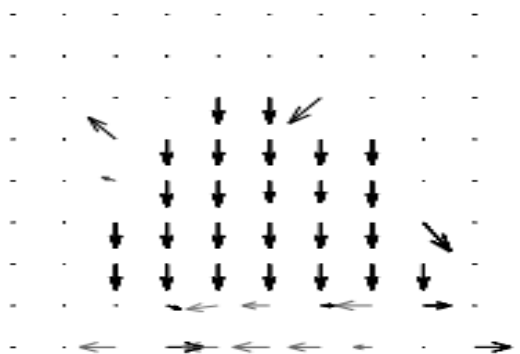


Рис. 4 – Векторное поле смещений при наличии свиля или пузырька воздуха

Таким образом, по результатам проведенного моделирования, можно сделать вывод, что наличие внутри или на поверхности оптических деталей различных дефектов легко выявляется с помощью теневого фонового метода.

Заключение

Путем компьютерного моделирования показана возможность разработки методов контроля качества оптических деталей на основе теневого фонового метода. Приведены векторные поля смещений точек фонового экрана, пропорциональных градиенту показателя преломления.

Список литературы / References

1. ГОСТ 11141–84. Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля. Государственный комитет СССР по стандартам. М. – 1984. – С. 16.
2. Быков Б.З., Перов В.А. Оформление рабочих чертежей оптических деталей и выбор допусков на их характеристики. Часть 1. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. – С. 64.
3. Shennon R.R. The art and science of optical design. Cambridge University Press. 1997. – 681 p.
4. Meier G.E.A. Computerized background-oriented schlieren // Experiments in Fluids. 33. – 2002. – P. 181-187.
5. Venkatakrishnan L., Meier G.E.A. Density measurements using the Background Oriented Schlieren technique // Experiments in Fluids. 37. 2004. P. 237-247.
6. Скорнякова Н.М. Теневой фоновый метод // В книге: Современные оптические методы исследования потоков / под ред. Б.С. Ринкевичюса. М.: изд-во Оверлей, – 2011. – С. 93-105.
7. Попова Е.М., Толкачев А.В., Скорнякова Н.М. Применение фонового теневого метода для исследования естественной конвекции. Труды VII МНТК «Оптические методы исследования потоков». М.: Изд-во МЭИ. – 2003. – С. 126-129.
8. Попова Е.М., Толкачев А.В., Пешков Д.И. Исследование разрешающей способности теневого фонового метода. Труды восьмой международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков». М.: изд-во МЭИ, – 2005. – С. 194-197.
9. Евтихиева О.А., Скорнякова Н.М., Удалов А.В. Исследование погрешности теневого фонового метода // Метрология. 2009. – № 10. – С. 31-40.
10. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А.Сойфера. М.: Физматлит, – 2001. – С. 780.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 11141–84. Detali opticheskie. Klassy chistoty poverhnostej. Metody kontrolja [GOST 11141-84. Details optical. The classes of surface finish. Methods of control] M. – 1984. – P. 16. [in Russian]
2. Bykov B.Z., Perov V.A. Oformlenie rabochih chertezhej opticheskikh detalej i vybor dopuskov na ih harakteristiki. [Making working drawings of optical components and the choice of tolerances on their characteristics] part 1. Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana. 2007. – P.64. [in Russian]
3. Shennon R.R. The art and science of optical design. Cambridge University Press. 1997 – 681 p.
4. Meier G.E.A. Computerized background-oriented schlieren // Experiments in Fluids. 33. 2002. – P. 181-187.
5. Venkatakrishnan L., Meier G.E.A. Density measurements using the Background Oriented Schlieren technique // Experiments in Fluids. 37. 2004. – P. 237-247.
6. Skornjakova N.M. Tenevoj fonovij metod [Skornyakova N. M. Background oriented schlieren method] // V knige: Sovremennye opticheskie metody issledovanija potokov [In the book: Modern optical methods of flow] / edited by B.S. Rinkevichjusa. M.: izd-vo Overlej, 2011. – P. 93-105. [in Russian]
7. Popova E.M., Tolkachev A.V., Skornjakova N.M. Primenenie fonovogo tenevogo metoda dlja issledovanija estestvennoj konvekcii. Trudy VII MNTK «Opticheskie metody issledovanija potokov» [Background the application of shadow method for the study of the natural convection. Proceedings of the VII conference "Optical methods of flow"]. M.: Izd-vo MJeI, 2003. – P. 126-129. [in Russian]
8. Popova E.M., Tolkachev A.V., Peshkov D.I. Issledovanie razreshajushhej sposobnosti tenevogo fonovogo metoda. Trudy vos'moj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Opticheskie metody issledovanija potokov» [A study of the resolution of the background oriented schlieren method. Proceedings of the eighth international scientific and technical conference "Optical methods of flow"]. M.: izd-vo MJeI, 2005. – P. 194-197. [in Russian]
9. Evtihieva O.A., Skornjakova N.M., Udalov A.V. Issledovanie pogreshnosti tenevogo fonovogo metoda [The study of error in background oriented schlieren method] // Metrologija [Metrology]. 2009. – № 10. – P. 31-40.
10. V.A.Sojfera. Metody kompjuternoj obrabotki izobrazhenij [Methods commutiny image processing] / edited by M.: Fizmatlit, 2001. – P. 780. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.104>Зиновьев Е.В.¹, Мумладзе Д.Г.¹, Бубенчиков А.А.², Бубенчикова Т.В.³¹Магистрант, ²кандидат технических наук, ³аспирант,

Омский Государственный Технический Университет в г. Омске

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ОМСКОМ РЕГИОНЕ**Аннотация**

Тематика данной статьи является весьма актуальной, поскольку довольно серьезно встал вопрос об уровне загрязнения окружающей среды вредными выбросами.

Целью статьи является оценка ситуации с точки зрения энергетической экономики в Омской области. В качестве задач выступает анализ различных вариантов применения нетрадиционных (альтернативных) источников энергии в Омском регионе. В статье также представлен обзор предложений, способствующих развитию альтернативной энергетики. Данная статья позволяет сделать вывод о целесообразности использования альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: ветроэнергетика, солнечная энергетика, биотопливо.

Zinoviev E.V.¹, Mumladze D.G.¹, Bubenchikov A.A.², Bubenchikova T.V.³¹Master's degree student, ²PhD in Engineering, ³Postgraduate student,

Omsk State Technical University in Omsk

POSSIBILITY OF APPLICATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN OMSK REGION**Abstract**

The subject of this paper is very relevant, since the question of environmental pollution with harmful emissions has become quite serious. The goal of this article is to assess the situation from the point of view of the energy economy in the Omsk region. The problem lies in the analysis of various options for the use of alternative energy sources in the Omsk region. The article also provides an overview of proposals that promote the development of alternative energy. This article allows us to draw a conclusion about the advisability of using alternative energy sources.

Keywords: wind power industry, solar energy, biofuel.

В настоящее время вопрос о переходе к нетрадиционным (альтернативным) источникам энергии от традиционных источников приобрел достаточную актуальность. В связи с этим стало возможным говорить о перспективах широкого применения альтернативных источников, что является важным, так как запасы невозобновляемых источников энергии ограничены. Наряду с этим еще одним немаловажным вопросом остается экологическая обстановка в отдельных регионах, которая непосредственно связана с выбросами тепловых электростанций (ТЭС), работающих на органическом топливе. Если оценить удельные выбросы продуктов сгорания при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива, то не составит особого труда сделать вывод о величине загрязнения [1, С. 9]; [2, С. 1513]. Далее более подробно будет рассматриваться экологическая ситуация в Омском регионе, а также вместе с этим потенциальные альтернативные источники энергии и возможности их применения на территории региона, и Сибири, в целом. Поскольку прежде чем переходить к оценке целесообразности внедрения таких источников энергии, необходимо проанализировать географическую зону расположения региона, оценить эффективность каждого из возобновляемых ресурсов, ведь каждый регион имеет свои особенности. Данная статья направлена на анализ существующих альтернативных источников энергии и на рассмотрение вопроса о возможности их применения в Омском регионе.

Во-первых, следует проанализировать научную литературу, посвященную проблемам перехода традиционной энергетики региона на энергетику, обладающую рядом преимуществ, нетрадиционную. Примерами таких преимуществ является использование возобновляемых, а значит неиссякаемых источников энергии и, безусловно, наименьшее загрязнение окружающей среды. Во-вторых, необходим анализ целесообразности применения этих источников в целях получения электроэнергии [3, С. 420].

Биомасса – термин, используемый для всего органического материала, который происходит из растений, в том числе и водорослей, а также деревьев и т.п., по сути, представляющее собой сбор и хранение солнечной энергии посредством фотосинтеза. Энергия биомассы или биоэнергия – это преобразование биомассы и продуктов ее переработки в прочие полезные виды энергии (тепловую, электрическую). Наука, которая исследует это преобразование, называется биоэнергетикой.

Биомасса – это один из основных перспективных источников возобновляемой (альтернативной) энергии, поскольку ее основными отличительными чертами являются легкая возобновляемость и достаточно большой энергетический потенциал. Существует три вида биотоплива:

- твердое, например, смола, дрова;
- жидкое, к которому относятся биодизель, метанол и этанол;
- газообразное, такое как водород и биогаз.

Самым энерго потенциальным биотопливом можно считать: траву, как отход растениеводства; твердый осадок сточных вод, относящийся к твердым бытовым отходам и канализационным стокам, а также сосновые иглы, как отходы лесопромышленного комплекса. Так как у этих видов биотоплива максимальный процент содержания метана (68 – 72 %) [4, С. 568-569]; [5, С. 292-293].

Ветер является широкодоступным, не загрязняющим, в процессе выработки электроэнергии, окружающую среду, энерго потенциальным источником чистой энергии. Однако в ходе индустриализации энергию ветра вытеснило органическое топливо (уголь, нефть), как более дешевый и надежный источник энергии. Тем не менее, из-за нефтяных кризисов к ветроэнергетическим технологиям, служащим для производства электроэнергии, перекачки воды и энергоснабжения в отдаленных районах, возобновился интерес, способствуя возрождению ветроэнергетики.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, связанная с преобразованием энергии ветра в механическую, тепловую и электрическую. На земном шаре общая мощность энергии ветра оценивается в $2,43 \cdot 10^{15}$ МВт. По данным «Greenpeace» за счет энергии ветра человек, за год, способен получить 530 000 ТВт·ч энергии.

Солнечная энергетика – это область энергетики, которая связана с преобразованием энергии солнца в тепловую и электрическую. Количество энергии, которое поступает к Земле от Солнца, составляет 123 трлн. т у.т. в год – это в 3000 раз больше, чем энергия, получаемая из всех видов топлива. Если от всей энергии, поступающей от Солнца использовать только 0,0125 %, то даже этого более чем достаточно, чтобы удовлетворить нынешние потребности всех стран в энергетике [6, С. 3-5]; [7, С. 23-25].

Исходя из анализа научной литературы, следует отметить присутствие перспектив для развития и использования энергии Солнца на территории г. Омска. Для Омского региона и Омска, в частности, характерным является движение Солнца, а именно то, что оно набирает наибольшую высоту и, оставаясь на ней в течение всего дня, опускается только к вечеру. Проще говоря, движение Солнца, в данной местности, происходит вокруг объекта. В день зимнего солнцестояния (22 декабря) продолжительность дня в Омске составляет 6 часов 48 минут, тогда как в день летнего солнцестояния (22 июня) продолжительность дня равна 17 часам 08 минутам. Взяв во внимание эти данные, можно сделать вывод, что продолжительность (средняя) солнечного сияния равна 2223 ч/год. Среднее количество дней «без Солнца» в Омске составляет пятьдесят семь за год. Из этих пятидесяти семи дней сорок семь – зимние дни. Исходя из этого, следует вывод, что Омск является пригодным для развития солнечной энергетике, так как имеет большие запасы энергии Солнца и достаточную длительность солнечных суток.

На данный момент солнечные и ветросолнечные электростанции не пользуются огромным спросом, однако количество потребителей с каждым годом все же растет. К основным потребителям подобных электростанций относятся, в первую очередь, объекты в отдаленных районах, где отсутствует энергоснабжение. Также потребители, финансирующие данные мероприятия для того, чтобы сэкономить в дальнейшем на традиционных ресурсах, так как такие системы имеют срок окупаемости от четырех до двенадцати лет. Помимо прочих есть потребители, относящиеся к основным, которые в силу своего интереса к новым технологиям, создают спрос на солнечные и ветросолнечные электростанции [8, С. 748]; [3, С. 421].

Благодаря значительной производительности солнечного сияния, а также средней по России скорости ветра, в Омской области возможно комбинированное использование этих двух ресурсов. Примером может послужить Алтайский край, в котором разработали ветросолнечную станцию вблизи базы отдыха. Данная станция обеспечивает эту базу необходимой электроэнергией, служащей для освещения и питания бытовых приборов, а благодаря солнечному коллектору поддерживается горячее водоснабжение (ГВС). Помимо этого предусмотрена также аккумуляция тепловой энергии.

Подводя итог вышесказанному, можно сказать, что на территории Омской области возможно применение всех источников энергии, упомянутых выше, в частности энергии Солнца. Так как Омский регион располагает достаточным количеством незадействованных ресурсов, которые необходимы для выработки электроэнергии. Однако нужны значительные финансовые вложения, заинтересованность, как производителей, так и потребителей для того, чтобы осуществить это.

Самая распространенная конструкция ветроустановок – это конструкция с тремя лопастями, горизонтальной и вертикальной осями вращения. Ветроустановки, имеющие вертикальную ось вращения обладают преимуществом, которое заключается в том, что им для начала работы необходимы довольно малые скорости ветра. Однако такие ветрогенераторы не получили широкого распространения из-за трудностей с механизмом торможения.

От диаметра лопастей ротора и скорости ветра зависит производимая ветроустановкой энергия. Например, ВЭУ мощностью 10 кВт в год производит около 16000 кВт·ч, тогда как около 130000 кВт·ч способна производить ВЭУ мощностью 600 кВт. Горизонтальную ось вращения двигателя имеет значительная часть ВЭУ, примерно 90 %, и лишь только 10 % – вертикальную ось вращения [9, С. 42-43]; [3, С. 422].

Что касается работы биогазовых установок, то она может использоваться везде, где есть энергетическая биомасса и органические отходы, но в достаточном количестве. То есть целесообразно вырабатывать энергию из биомассы на территориях юга Сибири, центральной России и Краснодарского края.

Однако оптимальные разработки по производству биотоплива на территории России и, в частности, Омской области, основываются на его получении из микроводорослей и мицелиальных грибов. Так как производство биотоплива из технических культур (рапса, кукурузы и т.д.) нецелесообразно, поскольку они занимают крупные площади для посева, а также уступают в простоте их выращивания и дальнейшего производства биотоплива из них.

На территории Российской Федерации возможность применения ветроэнергетики так же не одинакова. Что касается Сибири, то на ее территории скорость ветра (среднегодовая) находится в пределах от 3 до 5 м/с. Это позволяет использовать ветроэнергетику в данном регионе достаточно эффективно.

Наряду с Сибирью, для построения ВЭУ также подходят северные и восточные регионы России, где скорость ветра составляет более 5 м/с.

Но для того, чтобы построить ВЭУ на территории Сибири нужно учесть немалое количество природных факторов, таких как, например, рельеф. Омская область географически расположена на юге Западно-Сибирской равнины в среднем течении Иртыша. Местность относительно плоская (преобладают абсолютные отметки 100 – 140 м.). Также в Сибири скорости ветра (среднегодовые) редко превышают пределы 4,5 – 5 м/с, то есть для Омского региона предпочтительнее ВЭУ малой мощности.

В Омске большую часть года, с сентября по апрель, преобладает ветер юго-западного направления с периодичностью 25 – 35 % за месяц. В летнее время преобладает северо-западный ветер 20 – 23 % за месяц. Северный ветер и западный, в летнее время года, 16 – 19 % и 15 %, соответственно. В летнее время скорости ветра минимальные в году, и составляют менее 4 м/с. Поэтому для Омского региона больше всего подходят ВЭУ малой мощности, как было сказано выше, и с вертикальной осью вращения.

На территории России можно выделить регионы наиболее пригодные для, развития солнечной энергетики. Западная и Восточная Сибирь, а также Дальний Восток являются такими регионами. Годовая солнечная радиация в этих регионах составляет примерно 1300 кВт·ч/м². Такое количество энергии превосходит значения для южных регионов России, поэтому использование установок для преобразования солнечной энергии в этих районах наиболее целесообразно.

В заключение следует отметить, что практически вся территория Российской Федерации, в частности, Омский регион, подходит для того, чтобы использовать все вышеперечисленные источники энергии, а особенно, энергию Солнца, так как располагает достаточным количеством незадействованных ресурсов, которые необходимы для выработки энергии. Нельзя упускать и тот факт, что для осуществления всего вышесказанного нужны значительные финансовые вложения со стороны производителей и, соответственно, заинтересованность со стороны потребителей [10, С. 182-183]; [3, С. 423-424].

Список литературы / References

1. Antonia V. Herzog Renewable Energy Sources / Antonia V. Herzog, Timothy E. Lipman, Daniel M. Kammen // Encyclopedia of life support systems. – 2014. – Vol. “Perspectives and Overview of life Support Systems and Sustainable Development”, Part 4C. – P. 9 – 38.
2. N.L. Panwar Role of renewable energy sources in environmental protection: A review / N.L. Panwar, S.C. Kaushik, Surendra Kothari // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15. – P. 1513 – 1524. doi:10.1016/j.rser.2010.11.037
3. Белоглазов В. П. Использование нетрадиционных источников энергии на территории омской области / В. П. Белоглазов, Л. В. Белоглазова, А. В. Булова и др. // Материалы Международной научно-практической конференции “Актуальные вопросы энергетики”. 2017. – Омск Издательство ОмГТУ. – С. 420–425.
4. Roberts J.J. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina / Roberts J.J., Cassula A.M., Prado P.O. and others // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 41. – P. 568 – 583. doi:10.1016/j.rser.2014.08.066
5. Herbert J. Quantifying environmental performance of biomass energy Herbert J., Krishnan U. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 59. – P. 292 – 308. doi:10.1016/j.rser.2015.12.254
6. Ney M. Technological center for research of renewable resources and accumulation of electric power / Ney M., Hradilek Z., Minarik D. and others // Environment and Electrical Engineering. – 2014. 14th International Conference. – P. 3 – 86. doi:10.1109/EEEIC.2014.6835838
7. Khare V. Solar–wind hybrid renewable energy system: A review / Khare V., Nema S., Baredar P. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 58. – P. 23 – 33. doi:10.1016/j.rser.2015.12.223
8. Ellabban O. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology / Ellabban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 39. – P. 748 – 764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113
9. Heier S. Wind Energy Conversion Systems, in Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems / Heier S. – UK: John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2014. – 494 p.
10. Фомичев В. К. Использование оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии (солнце и ветре) в условиях Сибирского региона / В. К. Фомичев, И. В. Церегородцева // Возобновляемая энергетика XXI Век энергетическая и экономическая эффективность 2016. – М.: ОИВТ РАН, 2016. – С. 177–183.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Antonia V. Herzog Renewable Energy Sources / Antonia V. Herzog, Timothy E. Lipman, Daniel M. Kammen // Encyclopedia of life support systems. – 2014. – Vol. “Perspectives and Overview of life Support Systems and Sustainable Development”, Part 4C. – P. 9 – 38.
2. N.L. Panwar Role of renewable energy sources in environmental protection: A review / N.L. Panwar, S.C. Kaushik, Surendra Kothari // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15. – P. 1513 – 1524. doi:10.1016/j.rser.2010.11.037
3. Beloglazov V.P. Ispol'zovanie netradicionnyh istochnikov jenerгии na territorii omskoj oblasti [Use of non-traditional energy sources in the Omsk region] / V.P. Beloglazov, L.V. Beloglazova, A.V. Bulova and others // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii “Aktual'nye voprosy jenergetiki” [Materials of the International Scientific and Practical Conference “Actual Energy Issues”]. – 2017. – Omsk Izdatel'stvo OmGTU. – P. 420–425. [in Russian]
4. Roberts J.J. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina / Roberts J.J., Cassula A.M., Prado P.O. and others // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 41. – P. 568 – 583. doi:10.1016/j.rser.2014.08.066
5. Herbert J. Quantifying environmental performance of biomass energy / Herbert J., Krishnan U. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 59. – P. 292 – 308. doi:10.1016/j.rser.2015.12.254
6. Ney M. Technological center for research of renewable resources and accumulation of electric power / Ney M., Hradilek Z., Minarik D. and others // Environment and Electrical Engineering. – 2014. 14th International Conference. – P. 3 – 86. doi:10.1109/EEEIC.2014.6835838
7. Khare V. Solar–wind hybrid renewable energy system: A review / Khare V., Nema S., Baredar P. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 58. – P. 23 – 33. doi:10.1016/j.rser.2015.12.223
8. Ellabban O. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology / Ellabban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 39. – P. 748 – 764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113
9. Heier S. Wind Energy Conversion Systems, in Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems / Heier S. – UK: John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2014. – 494 p.

10. Fomichev V. K. Ispol'zovanie oborudovaniya, rabotajushhego na vozobnovljajemyh istochnikah jenergii (solnce i vetre) v uslovijah Sibirskogo regiona [Use of equipment working on renewable energy sources (sun and wind) in the Siberian region] / V. K. Fomichev, I. V. Ceregorodceva // Vozobnovljajemaja jenergetika XXI Vek jenergeticheskaja i jekonomicheskaja jeffektivnost' 2016. [Renewable Energy XXI Century Energy and Economic Efficiency 2016]. – M.: OIVT RAN, 2016. – P. 177–183.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.095>

Ле Тиен Зыонг¹, Нестеренко В.Г.²

¹Аспирант, ²кандидат технических наук, доцент,

Московский авиационный институт

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КПД В КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД

Аннотация

Приведены результаты расчётных и экспериментальных исследований конструктивных способов повышения эффективности современных и перспективных газотурбинных двигателей путём снижения потерь энергии газа в радиальном зазоре и уровня вторичных потерь энергии газа в межлопаточных каналах их высокотемпературных турбин высокого давления (ТВД). Предложены конструктивные способы уменьшения зоны распространения вторичных токов по высоте рабочей лопатки ТВД, способствующие повышению равномерности потока газа, обтекающего перо лопатки и уровень КПД ступени турбины.

Ключевые слова: высокотемпературная турбина, рабочая лопатка, бандажная полка, радиальный зазор, вторичные потери.

Le Tien Ziong¹, Nesterenko V.G.²

¹Postgraduate student, Moscow Aviation Institute

²PhD in Engineering, Associate professor, Moscow Aviation Institute

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF CONSTRUCTIVE METHODS FOR INCREASING PERFORMANCE FACTOR AT END SECTIONS OF MOVING BLADES OF TURBO-PROPELLER ENGINE OF AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINES

Abstract

The results of computational and experimental studies of constructive methods for increasing the efficiency of modern and promising gas turbine engines by reducing the energy loss of gas in the radial gap and the level of secondary losses of gas energy in the inter-path channels of their high-temperature high-pressure turbines (HPTs) are presented in the paper. The construction methods are proposed for reduction of a propagation zone of secondary currents along the height of the working blade of a turbine, which contribute to an increase in the uniformity of the gas flow around the blade airfoil and the level of efficiency of the turbine stage.

Keywords: high-temperature turbine, working blade, platform, radial clearance, secondary losses.

В современных и перспективных авиационных ГТД имеет место непрерывное повышение температуры газа перед турбиной и величин степени сжатия в компрессоре [1], [2], уровень этих величин показан в Таблице 1. Однако, увеличенная величина степени сжатия газа в компрессоре приводит к уменьшению высоты лопаток рабочего колеса и соплового аппарата турбины, из-за чего возрастают относительные величины перетекания газа в радиальном зазоре и вторичные потери энергии газа в межлопаточных каналах, что приводит к росту потерь энергии газа и снижению КПД ТВД [3], [4].

В таблице 2 показаны технические параметры ряда ТВД гражданских ТРДД, которые имеют одинаковый уровень тяги, но отличаются величиной температуры газа на выходе из камеры сгорания и конструкцией. Так, например, ТРДД PW 1400 имеет встроенный редуктор, который разделяет валы вентилятора и турбины вентилятора, и имеет самую большую величину степени двухконтурности, равную 12–ти.

Таблица 1 – Технические требования к новым двигателям для гражданской авиации

| Наименование индикатора | Базовый уровень | Динамика целевых показателей | | | | |
|--|-----------------|------------------------------|---------|---------|---------|--|
| | 2010 г. | 2015 г. | 2020 г. | 2025 г. | 2030 г. | |
| Этапы развития | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Снижение крейсерского удельного расхода топлива и CO ₂ % к двигателям 2010 г. | | 10–15 | 15–20 | | 20–30 | |
| Снижение эмиссии NO _x относительно норм ИКАО 2008 г. на (%) | 100 | 20 | 45 | 65 | 80 | |
| Снижение шума по сравнению с нормой Гл. 4, EPN dB | | 15 | >20 | | >40 | |
| Ресурсы основных двигателей, «гор.»/«хол.» частей, тыс. полетных циклов | | 20/40 | 22/45 | | 30/60 | |
| Снижение удельной стоимости жизненного цикла ВС на (%) | 100 | 5 | 10 | 15 | 25 | |

Кроме того, в этом двигателе имеется минимальное число ступеней турбины низкого давления (ТНД), поскольку вал ТНД вращается примерно в полтора раза быстрее, чем вал вентилятора. Следует обратить внимание на несколько большую массу редукторного ТРДД, примерно на 100 кг, что объясняется наличием встроенного редуктора. Редукторный ТРДД также имеет минимальный расход топлива, который является следствием большей величины степени двухконтурности.

Таблица 2 – Параметры ТРДД современных гражданских ЛА

| Параметры ТРДД | ПД-14 2-вальный ОДК | PW(1400G) (PW1100G) Редукторный ТРДД PW | LEAP-X 2-вальный ТРДД CFMI | RB285-70 3-вальный ТРДД RR |
|---|---------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| Диаметр вентилятора, мм | 1900 | 2057 | 1905...1980 | 1830 |
| Взлетная тяга, кгс | 14,0 | 10,9–15,0 | 10,9–15,0 | 13,6 |
| Степень двухконтурности | 8,5 | 12 | 10 | 10 |
| Температура газа перед турбиной | исходный | +50 °C | +100 °C | – |
| Суммарная степень сжатия в компрессорной части ТРДД | 41 | 45...50 | 45...50 | 40 |
| Тяга на крейсерском режиме (H=11 км, M=0,8), кгс | 2430 | 2400 | – | – |
| Удельный расход топлива, кг/кгс.ч | 0,526 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Число ступеней в компрессоре | 1+3+8 | 1+P+3+8 | 1+4+10 | 1+6+6 |
| Число ступеней в турбине | 2+6 | 2+3 | 2+(6–7) | 1+1+6 |
| Суммарное число ступеней ТК | 20 | 17 | 23–24 | 21 |
| Число валов | 2 | 2 (вал НД разъединен редуктором) | 2 | 3 |
| Число подшипников | 5 | 6 | 5 | 8 |
| Масса силовой установки, кг | 3970 | 4080 | 4030(оценка) | 3890(оценка) |
| Целевой уровень снижения NOx отн. САЕР6 | –20...30 % | –50 % | –50 % | – |
| Целевой уровень запаса по шуму отн. Гл.4 | 15 dB | 16 dB | 10...15 dB | – |
| Применение | МС-21 | МС-21 (A320NEO) | C919, A320NEO | предложение для МС-21 |

Трёхвальный двигатель RB285–70 имеет наибольшее число опор и, следовательно, для них требуется наибольшее количество масла. Однако этот ТРДД имеет максимальные перспективы с точки зрения возможности увеличить величину степени сжатия в компрессоре, поскольку в трёх каскадах эту задачу решать легче, чем в двух. Очевидно, что для снижения величины удельного расхода топлива величина суммарной степени сжатия в компрессоре также важна, как и степень двухконтурности ТРДД [5], [6].

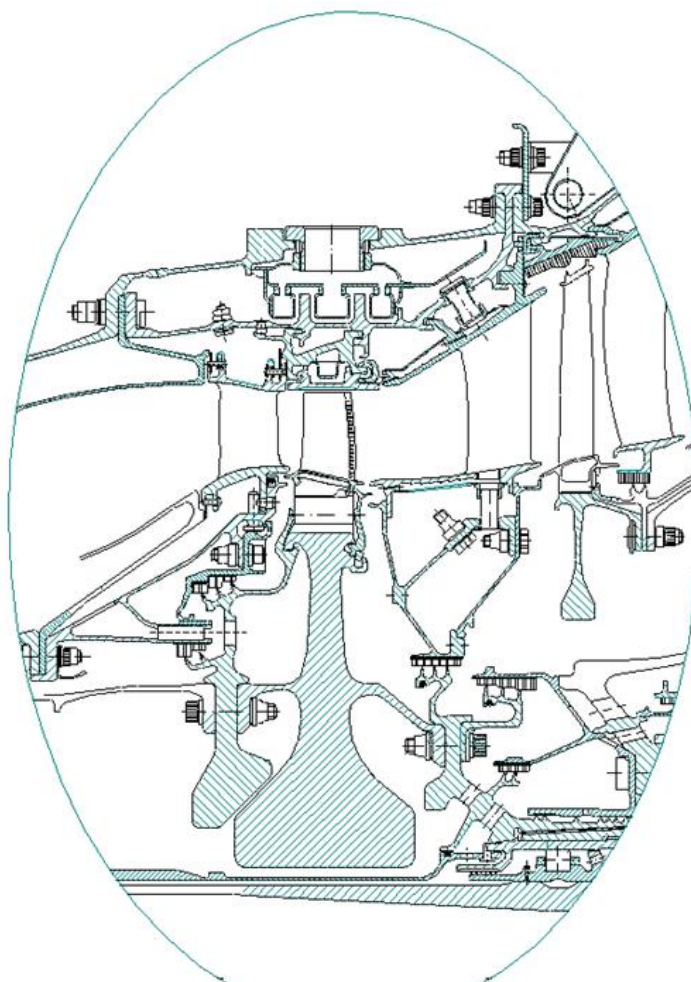


Рис. 1 – ТВД современного ТРДД с одноступенчатой ступенью и цилиндрической формой проточной части над рабочей лопаткой, $h = 40$ мм

На рис. 1 показана конструктивная схема турбины современного ТРДД, рабочая лопатка одноступенчатой ТВД выполнена бесполочной, отношение высоты лопатки к хорде корневого сечения равно 1,5.

Следующая ступень турбины низкого давления этого двигателя спроектирована с антивибрационной бандажной полкой, поскольку она имеет рабочую лопатку большого удлинения, более 5,3.

На рис. 2 представлен результат расчёта течения газа в концевой части рабочей лопатки турбины, видно перетекание газа через открытый радиальный зазор. Этот газ, на спинке лопатки распространяется по её высоте, смешиваясь с основным потоком, при этом происходит не только рост коэффициента потерь энергии, но и увеличение угла выхода потока от расчётного направления, что приводит к снижению степени расширения газа на верхней части рабочей лопатки турбины. При постановке бандажной полки, эти перетекания газа исключаются.

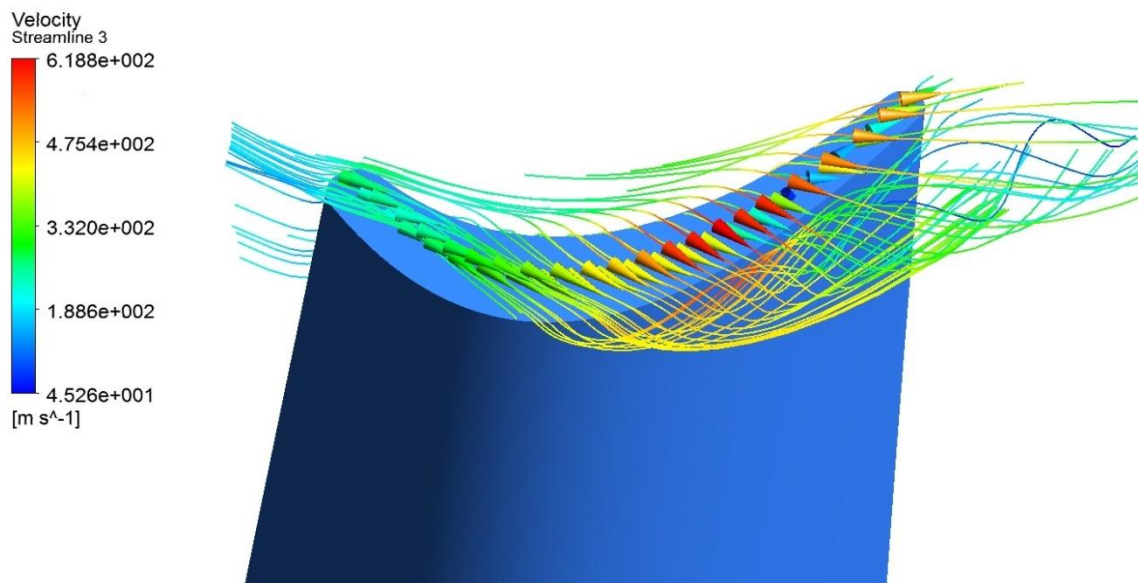


Рис. 2 – Течение газа через радиальный зазор

Большое число современных турбин ГТД средней и малой тяги спроектированы с малой высотой рабочих лопаток ТВД, где влияние радиального зазора на КПД велико. Например, лопатка рабочего колеса 1-ой ступени двухступенчатой ТВД ТВ7-117, максимальной мощности 2500 л.с., имеет высоту пера на выходе из ступени равную 20 мм, а рабочая величина радиального зазора, отнесённая к высоте пера этой лопатки, равна 2,5 %. Потери КПД этой ступени из-за влияния радиального зазора могут составлять примерно 5 %. Кроме того, если радиальный зазор конусный, с раскрытием проточной части по высоте лопатки, как это показано на рис. 3, то эти потери КПД в ТВД ещё более увеличиваются.

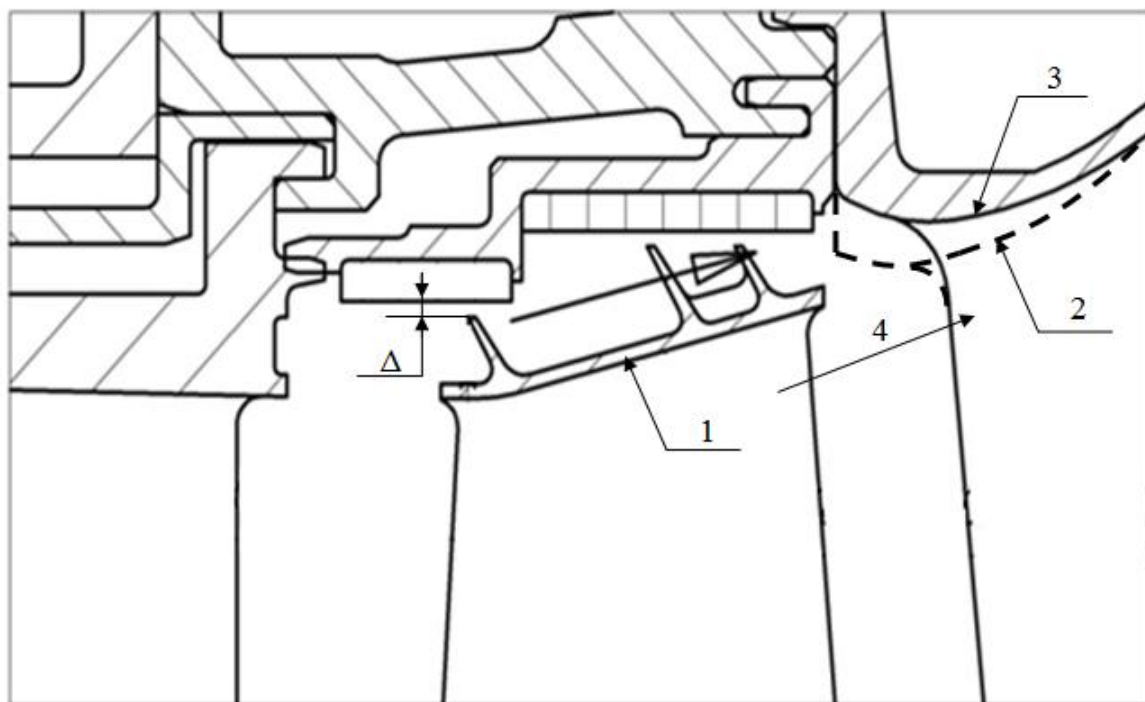


Рис. 3 – Радиальный зазор над бандажированной лопаткой ТВД

1 – бандажная полка; 2 – закрытый радиальный зазор; 3 – открытый радиальный зазор; 4 – линии тока газов; Δ – радиальный зазор

На рис. 3 представлены два типа радиального зазора. В одном, где кривая 3 образует внутренний контур соплового аппарата 2-ой ступени турбины, этот радиальный зазор называется «открытым радиальным зазором». В другом, где кривая 2 образует модифицированную внутреннюю сторону СА, на выходе из лабиринтного уплотнения, горячий газ встречает сопротивление полки соплового аппарата, и подтормаживается. Для оценки величины гидравлического сопротивления лопатки, связанного с появлением вторичных течений газа, было проведено экспериментальное исследование решётки турбины при наличии и отсутствии раскрытия проточной части турбины (рис. 4а). Результаты проведенных исследований показаны на рис. 4(б).

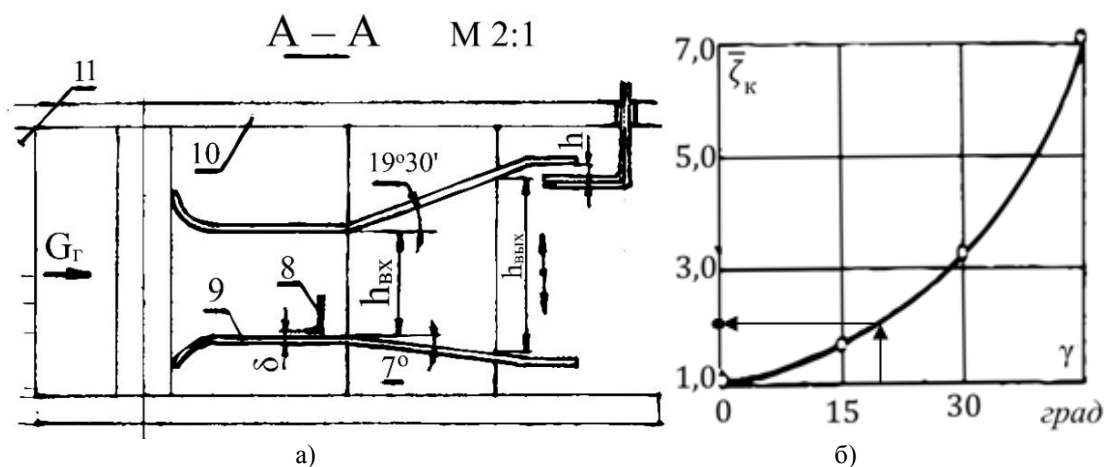


Рис. 4 – Схема установки для исследования влияния меридионального раскрытия контура проточной части плоской решётки лопаток СА на коэффициент потерь энергии газа (а) и Результаты исследования решеток СА с различными углами меридионального раскрытия профиля проточной части $\gamma = 0 \dots 45^\circ$ (б) [7]

Как видно из рис. 4(б) при раскрытии проточной части турбины более 30° уровень концевых потерь существенно возрастает. Даже при небольшой величине раскрытия проточной части турбины в 20° величина потерь энергии газа возрастает примерно в два раза.

Количество газа, которое проходит через лабиринтное уплотнение, устанавливаемое на бандажной полке, зависит от величины радиального зазора и эффективности самого лабиринтного уплотнения. Показанное на рис.5 ступенчатое лабиринтное уплотнение имеет коэффициент расхода, равный примерно $\mu = 0,65 \dots 0,7$, где коэффициент μ определяет по формуле Стодолы величину расхода газа при его протекании через лабиринтное уплотнение [8]:

$$G = \mu \cdot F \cdot \sqrt{\frac{p_{вх}^2 - p_{вых}^2}{z \cdot R \cdot T}} \quad (1)$$

где: G – расход через лабиринт, μ – коэффициент расхода, F – площадь зазора, $p_{вх}$ и $p_{вых}$ – давления на входе и на выходе лабиринта, z – число лабиринтов, R – газовая постоянная, T – начальная температура.

Физическая картина процесса торможения газа, который происходит при попадании газа в лабиринтное уплотнение, показано на рис. 5(а) и рис. 5(б). Бандажные полки, показанные на этих рисунках, имеют по два гребня, однако конфигурация переднего гребня отличается. На рис.5 б представлен наклонный гребень, который более эффективен, чем прямой.

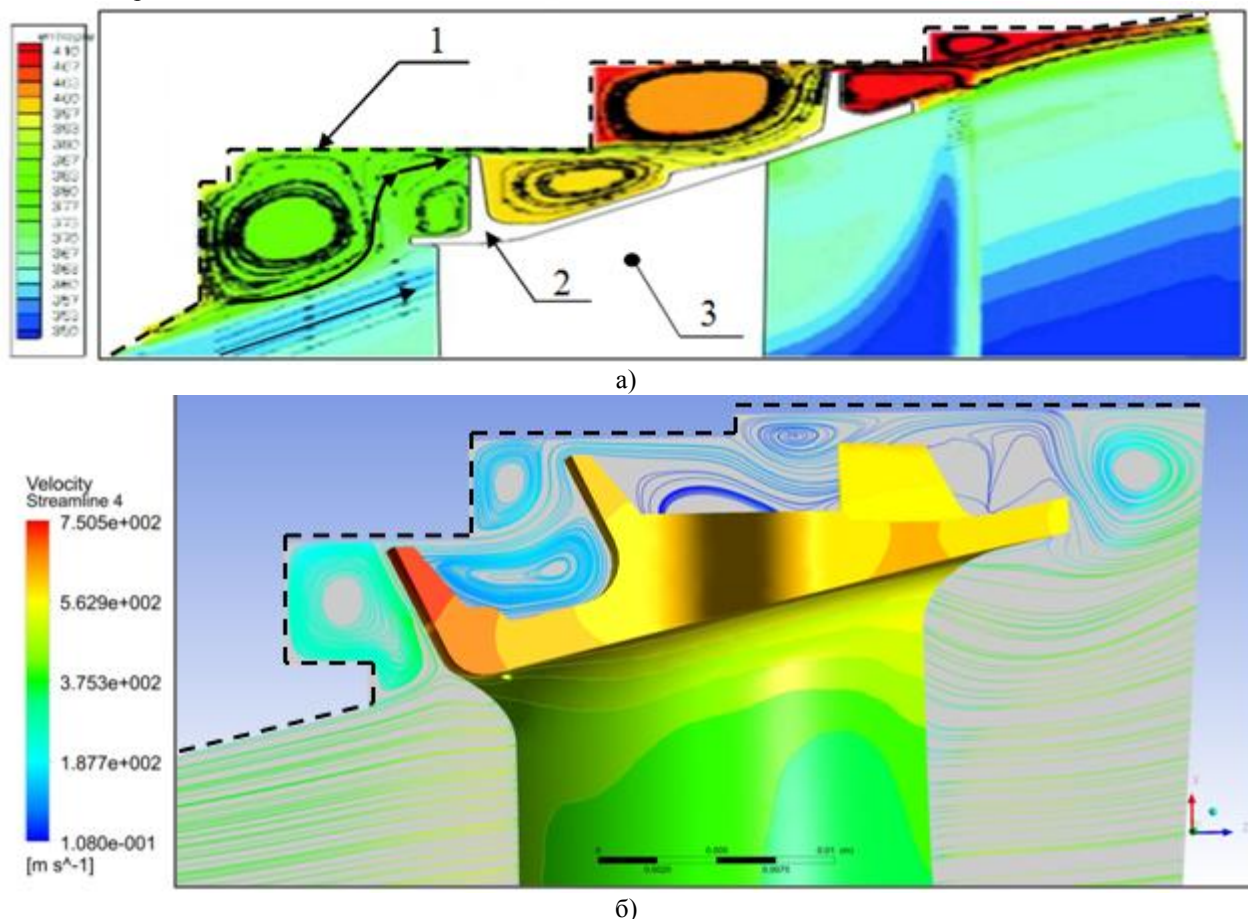


Рис. 5 – Течение газа через ступенчатый лабиринт, установленной на бандажной полке
1 – контур проточной части турбины; 2 – бандажная полка с гребнями уплотнений; 3 – перо лопатки ТВД

При отсутствии бандажной полки часть газа перетекает в осевом, а другая часть газа в окружном направлении. Потери КПД могут быть определены по зависимости:

$$1 - \Delta\eta_z = 1 - \bar{\delta}_k \frac{\rho''}{\rho_{ср}} \left[1 + \frac{0,3}{\sin \beta_2} \left(\frac{l}{t} \right)^2 \right] \quad (2)$$

где: η_z – потеря КПД в радиальном зазоре; $\bar{\delta}_k$ – относительный концевой радиальный зазор; ρ'' и $\rho_{ср}$ – плотность газа в осевом зазоре на периферии на среднем диаметре; β_2 – угол выхода газа из решетки; l и t – хорда и шаг решетки.

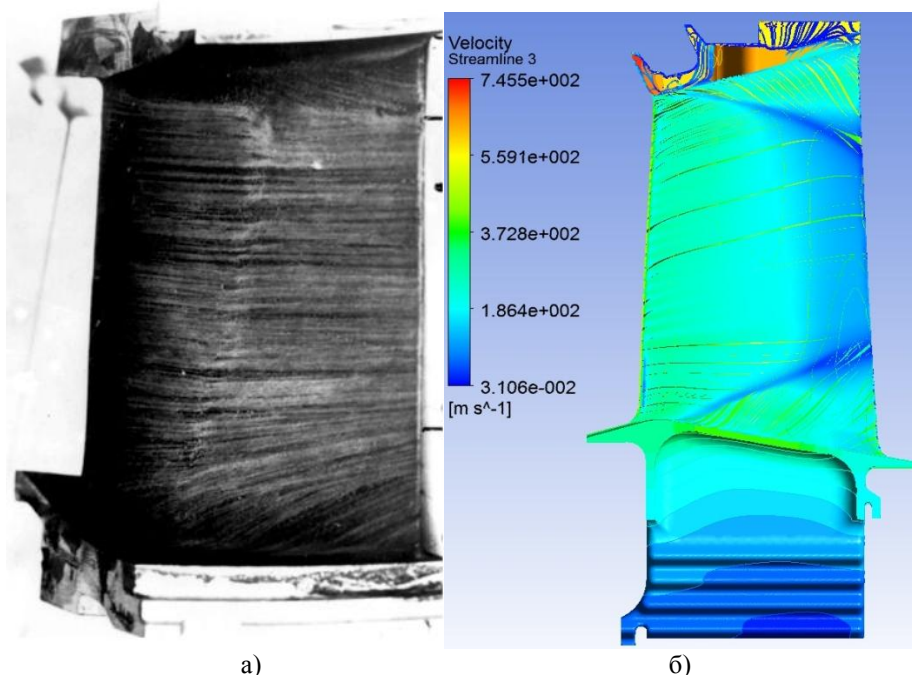


Рис. 6 – Линии тока на поверхностях лопаток турбин со стороны спинки а) сопловой аппарат б) рабочая лопатка

На рис. 6 показаны результаты исследований влияния вторичных токов на течение газа в концевых зонах лопатки: слева – эксперимент, справа – расчёт. При малой высоте лопатки концевые зоны решётки, затронутые вторичными токами, могут смыкаться и КПД ступени будет существенно падать. Очевидно, что необходимо разработать методы снижения интенсивности вторичных токов в проектируемых турбинных решётках современных ГТД, в которых применяются профили большой толщины, связанной с необходимостью размещения каналов охлаждения.

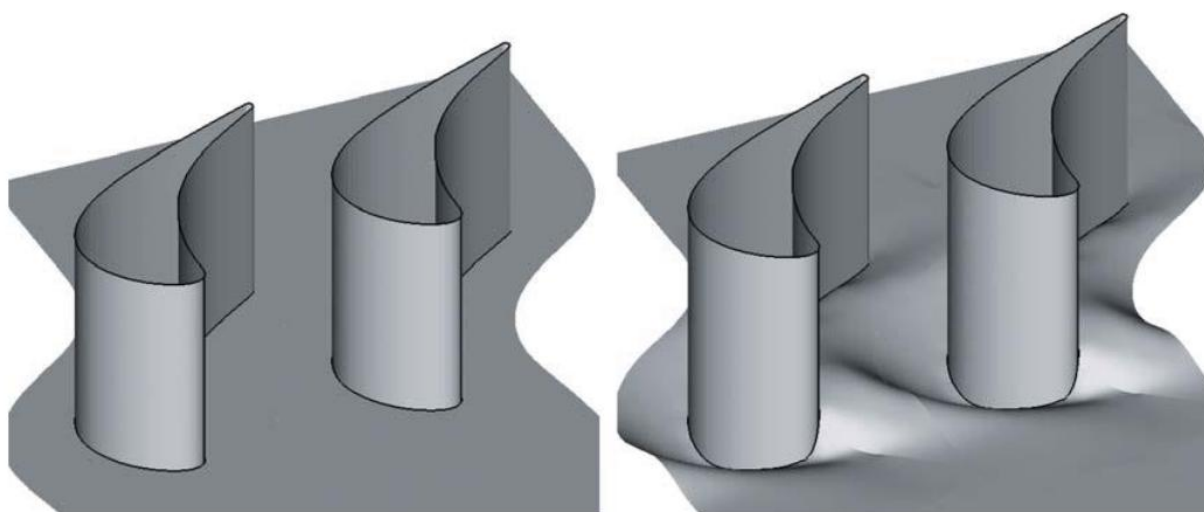


Рис. 7 – Решётки турбины с плоской (1) и профилированной (2) стенками

Таблица 3 – Геометрические параметры решётки, представленной на рис. 7, и режимные параметры потока

| | |
|---|-------------------|
| Хорда профиля, C (см) | 35.9 |
| Ширина решетки, C_{ax} (см) | 29.5 |
| Высота лопатки, S (см) | 46 |
| Отношение хорды профиля к высоте лопатки, C/S | 0.78 |
| Отношение хорды профиля к шагу решетки, C/P | 1.23 |
| Температура воздуха на входе, T_{0in} (К) | 302 |
| Полное давление воздуха на входе, p_{0in} (Па) | 10^5 |
| Угол потока относительно фронта решетки (град) | 35 |
| Среднемассовая скорость на входе, U_m (м/с) | 10 |
| Число Рейнольдса $Re_m = U_m C_{ax} / \nu$ | 2.1×10^5 |
| Интенсивность турбулентности во входном потоке (%) | 5 |
| Плотность теплового потока на торцевой стенке, q_w (Вт/м ²) | 840 |

На рис. 7 показана решётка лопатки турбины, у которой одинаковый профиль и с одним шагом [9]. Геометрические параметры решёток представлены в таблице 3. При профилированной стенке, показанной на рис. 7(б), где впадина расположена вблизи вогнутой стороны профиля в начальной части канала, происходит местное

снижение межлопаточного градиента давления, но эффективность этого способа невысока, поскольку снижение поперечного градиента давлений происходит на малой протяжённости канала [10].

Более эффективно использование S-образного профиля пера, варианты пространственного проектирования такой лопатки показаны на рис. 8 и рис.9.

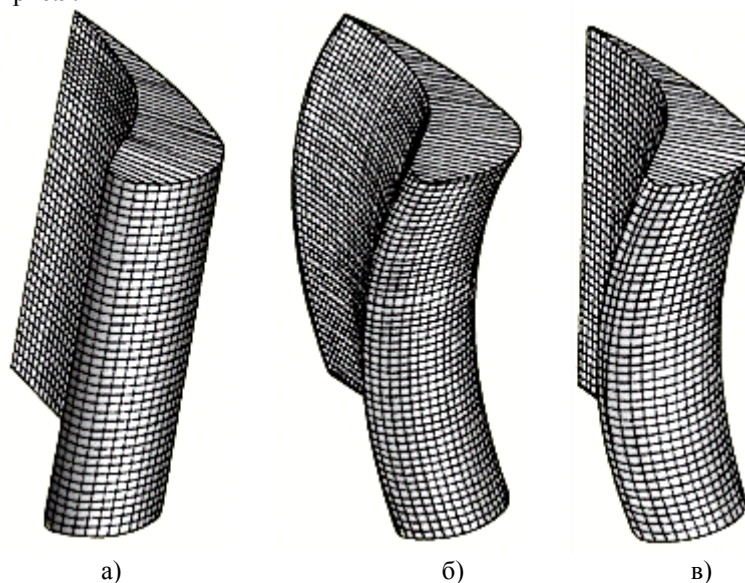


Рис. 8 – Модификации профильной части рабочих лопаток: а) радиальная лопатка; б) саблевидная лопатка; в) лопатка с изогнутой входной и прямой выходной кромками

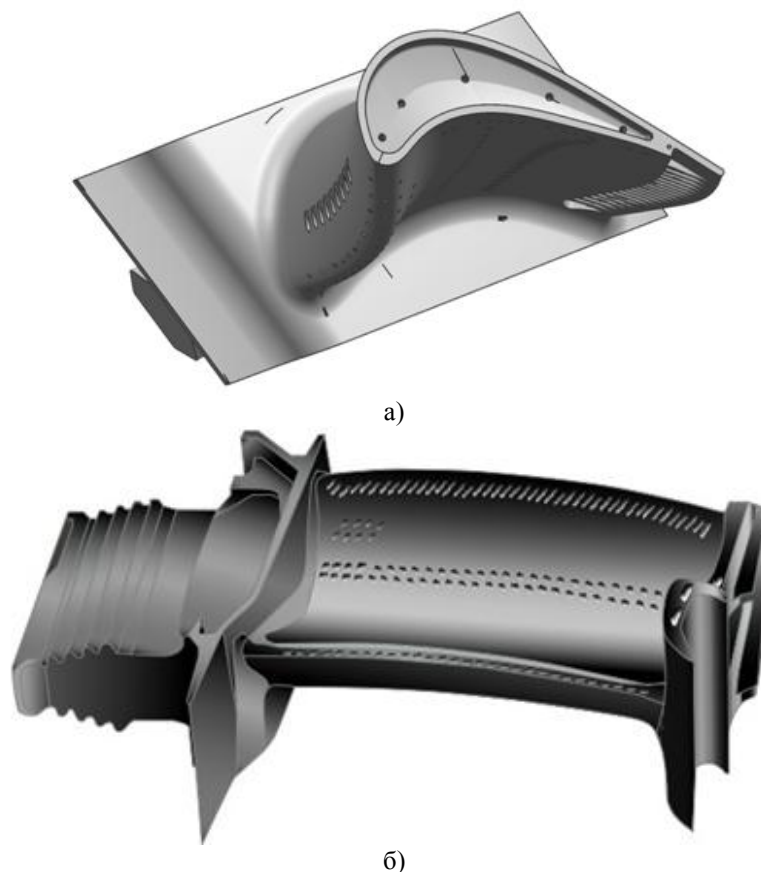


Рис. 9 – Рабочие лопатки ТВД с «изгибом» – навалом на спинку профильной части пера: а) без бандажной полки, лопатка ТРДД SAM 146; б) с бандажной полкой, лопатка Ролл Ройс Trent

На рис. 9 показана бандажированная лопатка турбины, в корневой части которой, на корыте профиля, имеются дополнительные отверстия 1, способствующие снижению температуры лопатки в этом критичном по уровню напряжений участке лопатки.

Далее представлены конструктивные варианты лопаток, в которых в концевой части пера на спинке профиля установлены гребни, препятствующие распространению вторичных токов по спинке пера лопатки и далее, образованию вихревого течения в срединной части канала, как это показано на рис 10.

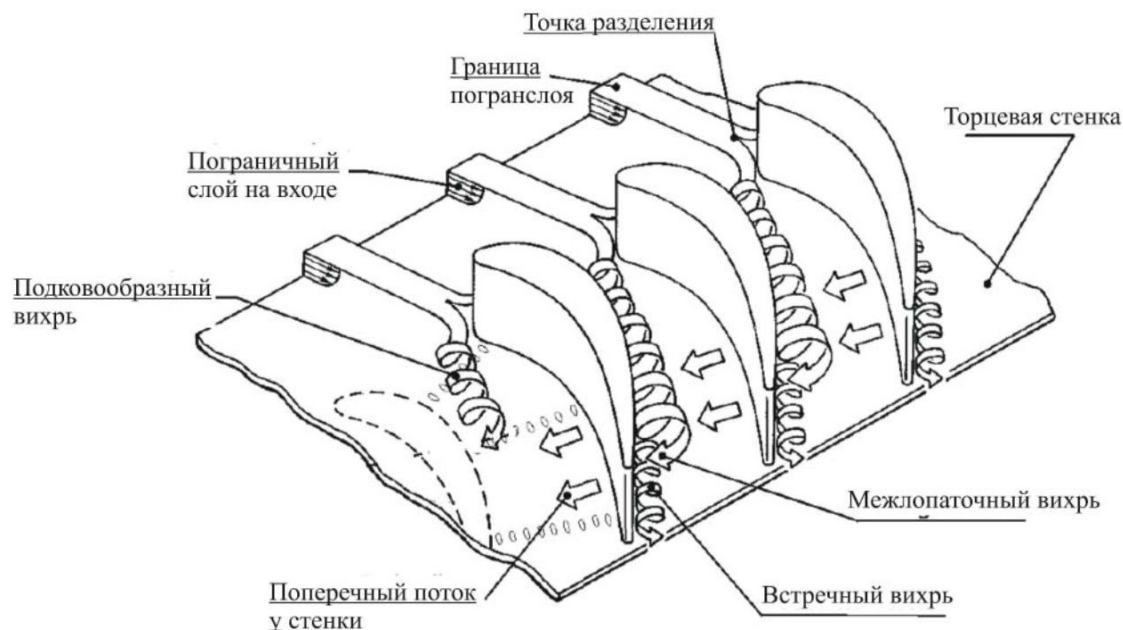


Рис. 10 – Принцип возникновения вторичных потерь в турбинной решетке

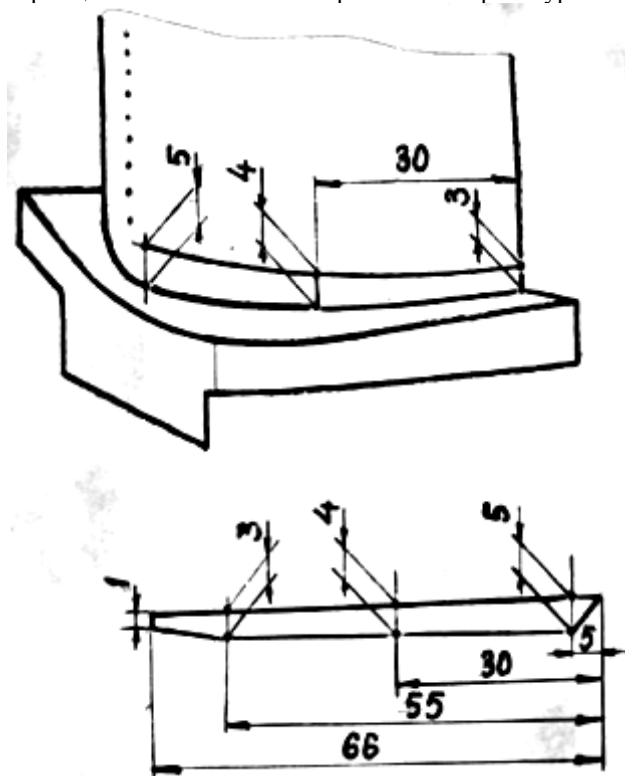


Рис. 11 – Геометрические размеры ребра и координаты его расположения на спинке сопловой лопатки турбины

На рис. 11 показана конструктивная схема гребня и место его положения на спинке лопатки, а на рис. 12 – результаты экспериментального исследования двух лопаток: с гребнем и без гребня.

Как видно, гребень, установленный на спинке профильной части лопатки, вполне решает поставленную задачу, большая часть лопатки свободна от воздействия вихревых течений газа. Произведенное траверсирование поля давлений за исследованной решёткой показало, что интегральная интенсивность вторичных течений газа не уменьшилась, вторичные токи ранее распространялись по высоте лопатки, а в этой конструкции они сосредоточились в области лопатки под полкой. Однако, существенно то, что эпюра газовых углов газа выхода из лопаточной решётки существенно изменилась, область увеличения угла потока, примыкающая к торцу лопатки, снизилась, что прямо свидетельствует о возможности увеличении эффективной работы в ступени турбины.

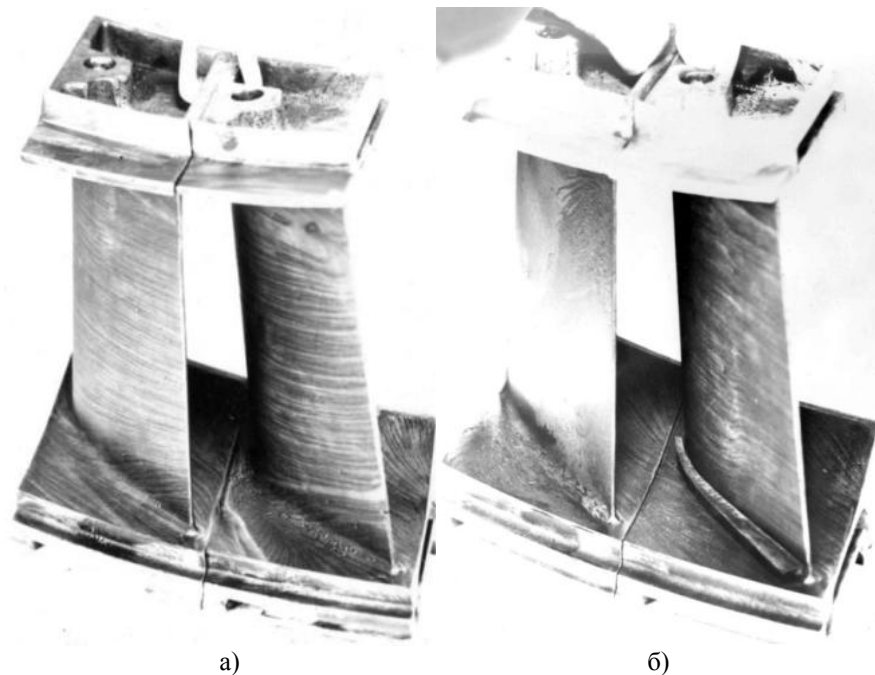


Рис. 12 – Линии тока на поверхностях сопловых лопаток турбин со стороны спинки без ребра (а) и с ребром (б)

Результаты расчётного исследования аналогичной конструкции с гребнем, закреплённым на спинке профильной части пера лопатки турбины, показаны на рис. 13 и 14.

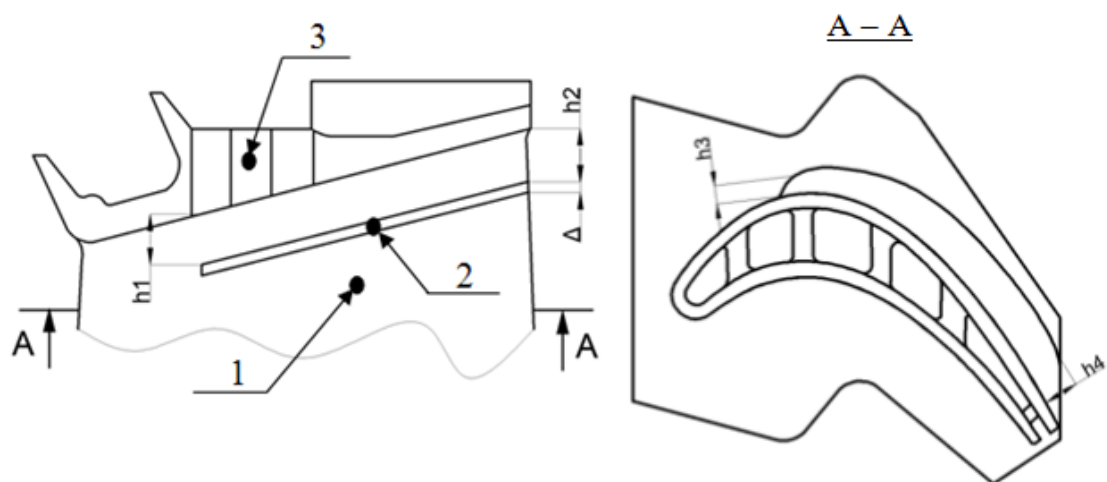


Рис. 13 – Геометрические размеры ребра и координаты его расположения на спинке бандажированной рабочей лопатки турбины

1 – перо лопатки турбины; 2 – ребро; 3 – контактная поверхность бандажной полки

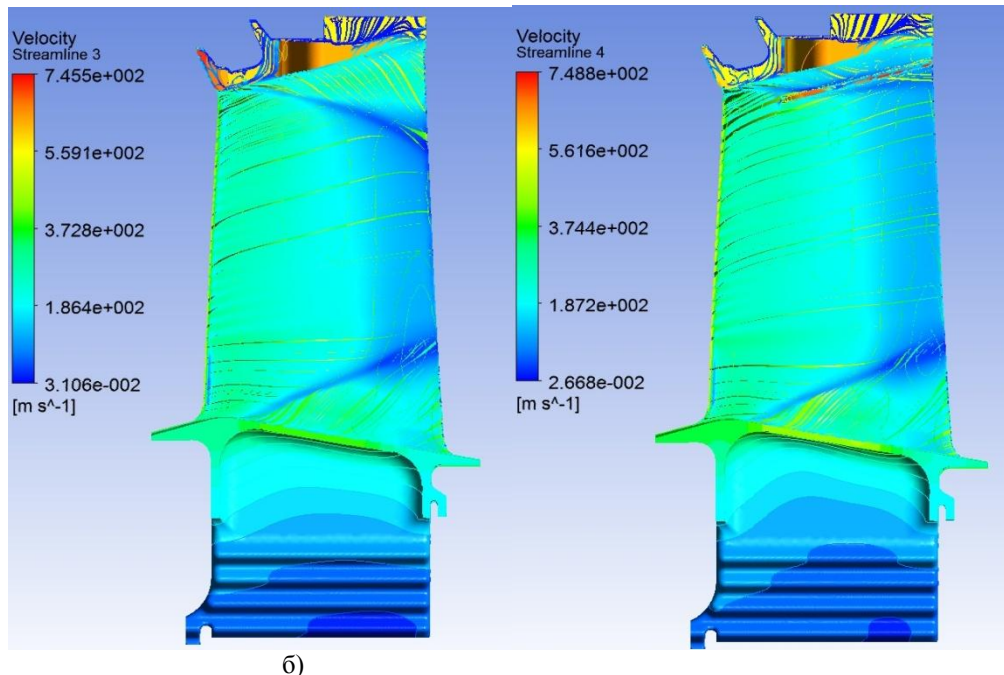


Рис. 14 – Линии тока на поверхностях рабочих лопаток турбин со стороны спинки без ребра и с ребром

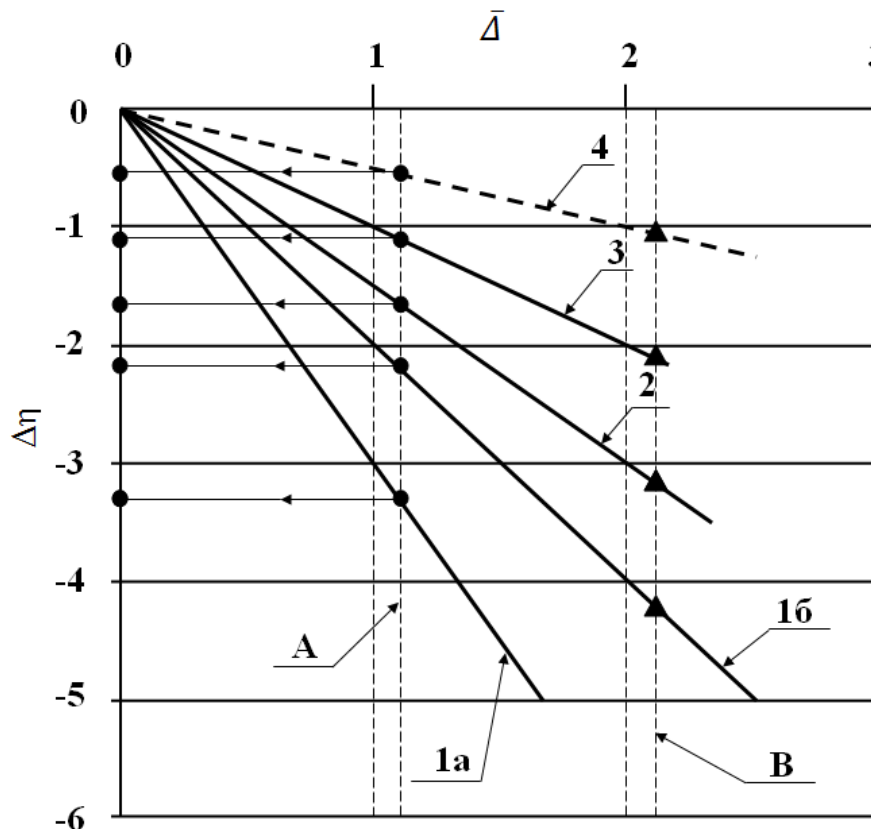


Рис. 15 – Зависимость потери КПД ступени турбин от величины относительного радиального зазора разных типов лопаток.

1а – Лопатка без бандажной полки с открытым зазором;

16 – Лопатка без бандажной полки с закрытым зазором;

2 – Бандажированная лопатка с прямоточным лабиринтом, установленным на бандажной полке;

3 – Бандажированная лопатка с ступечатым лабиринтом, установленным на бандажной полке;

4 – Бандажированная лопатка с ступенчатыми лабиринтами, установленным на бандажной полке, при установке ребра под полкой на выпуклой стороне профильной части лопатки;

$\Delta \bar{d} = \frac{d}{h}$ – относительный радиальный зазор (%); $\Delta \eta$ – потери КПД ступени (%)

В заключение рассмотрим результаты расчётной оценки влияния относительной величины радиального зазора над рабочей лопаткой в ступени турбины и особенностей его конструктивной реализации на потери КПД.

На рис. 15 представлена зависимость потери КПД ступени турбин от величины относительного радиального зазора для разных видов его конструктивного выполнения. Как видно, существенное влияние оказывает сама

величина изменения относительного радиального зазора. Границы слева А и справа В отражают имеющийся в настоящее время диапазон изменения относительных величин радиального зазора $\bar{\Delta}$. Так линия А отражает величину этого параметра для рабочей лопатки ТВД ТРДД SAM 146, а линия В – относится к первой ступени турбины ТВД ТВ 7–117. Кроме того, например, радиальный зазор в ТВД первой ступени турбины проектируемого ТРДД ПД 14, устанавливаемого на летательный аппарат (ЛА) МС 21, имеет величину $\bar{\Delta} = 1,25 \%$, а ТВД Ардиден Н, устанавливаемый на вертолете Ка 52, имеет величину $\bar{\Delta} = 2 \%$, т.е. в этих ГТД величины $\bar{\Delta}$ изменяются в указанных выше параметрах. Данные рис. 15 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Изменение КПД ступени ТВД в зависимости от конструктивного выполнения уплотнений радиального зазора (см. рис.15)

| № п.п | Варианты конструкции уплотнения радиального зазора (см. рис 15) | $\Delta\eta = f(\bar{\Delta})$, варианты конструктивного выполнения уплотнений радиального зазора | |
|-------|---|--|--------------------------|
| | | $\bar{\Delta} = 1,15 \%$ | $\bar{\Delta} = 2,17 \%$ |
| 1 | 1а | 3,3 | 6,4 |
| 2 | 1б | 2,2 | 4,25 |
| 3 | 2 | 1,65 | 3,2 |
| 4 | 3 | 1,15 | 2,15 |
| 5 | 4 | 0,5 | 1,1 |

Выводы и рекомендации:

Лопатку рабочего колеса ТВД, обеспечивающую высокий КПД ступени ТВД, целесообразно проектировать:

- с полноразмерной бандажной полкой и ступенчатым лабиринтным уплотнением, гребни которого имеют наклон навстречу набегающему потоку газа;
- с профильной частью пера пространственного проектирования, S-образной формы по высоте и наклоном пера на его выпуклую сторону (спинку профильной части лопатки);
- в концевых частях пера на спинке профильной части лопатки целесообразно располагать гребни, препятствующие распространению вторичных токов в центральную область лопатки.

Список литературы / References

- Иноземцев, А. А. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник для ВУЗов. В 5 т. Т. 2. Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. – М.: Машиностроение, 2008. – 365 с.
- Вьюнов С.А. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / С.А. Вьюнов, Ю.И. Гусев, А.В. Карпов и др.; под общ. ред. д-ра техн. наук Хрони́на Д. В. – М.: Машиностроение, 1989, 368 с.
- Локай В. И. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. Теория, конструкция и расчет: Учебник для вузов / В. И. Локай, М. К. МаксUTOва, В. А. Струнkin. – М.: Машиностроение, 1979. – 447 с.
- Жирицкий Г.С. Авиационные газовые турбины / Г.С. Жирицкий. – М.: Оборонгиз, 1950. – 512 с.
- Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели / Г. С. Скубачевский. – М.: Машиностроение, 1969. – 544 с.
- Холщевников К. В., Емин О. Н., Митрохин В. Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К. В. Холщевников, О. Н. Емин, В. Т. Митрохин. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.
- Дейч М.Е. Газодинамика решёток турбомашин / М. Е. Дейч. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – С. 528.
- Абианц В.Х. Теория авиационных газовых турбин / В. Х. Абианц. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
- Панов Д.О. Использование ANSYS CFX для прогнозирования характеристик решетки сопловых лопаток газовой турбины с профилированной торцевой стенкой / Д. О. Панов, Е. М. Смирнов, В. В. Рис // Журнал ANSYS ADVANTAGE. Русская редакция. – 2012. – № 17. – С. 33–38.
- Венедиктов В.Д. Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин / В. Д. Венедиктов, А. В. Грановский. – М.: ЦИАМ, 1990, – 393 с.
- Bunker R. P. Axial turbine blade tips: Function, design, durability / R. S Bunker // Journal of propulsion and power. – 2006. – Vol.22. – № 2. – P. 271–285.

Список литературы на английском языке / References in English

- Inozemcev A. A. Osnovy konstruirovaniya aviacionnyh dvigatelej i jenergeticheskikh ustanovok: Uchebnik dlja VUZov. V 5 t. T. 2. Kompressory. Kamery sgoranija. Forsazhnye kamery. Turbiny. Vyhodnye ustrojstva [Design principles of aircraft engines and power plants: Textbook for High Schools. In 5 vol. Vol. 2. Compressors. Combustion chambers. Afterburners. Turbines. Output Devices] / A. A. Inozemcev, M. A. Nihamkin, V. L. Sandrackij. – M.: Mashinostroenie, 2008. – 365 p. [in Russian]
- V'junov P. A. Konstrukcija i proektirovanie aviacionnyh gazoturbinnnyh dvigatelej [The construction and design of aircraft gas turbine engines] / P. A. V'junov, Ju .I. Gusev, A. V. Karpov and others; edited by PhD in Engineering Hronina D. V. – M.: Mashinostroenie, 1989, 368 p. [in Russian]
- Lokaj V. I. Gazovye turbiny dvigatelej letatel'nyh apparatov. Teorija, konstrukcija i raschet: Uchebnik dlja vtuzov [Gas turbines of aircraft engines. Theory, construction and calculation: Textbook for high schools] / V. I. Lokaj, M. K. Maksutova, V. A. Strunkin. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 447 p. [in Russian]
- Zhirickij G.P. Aviacionnye gazovye turbiny [Aviation gas turbines] / G.P. Zhirickij. – M.: Oborongiz, 1950. – 512 p. [in Russian]
- Skubachevskij G. P. Aviacionnye gazoturbinnnye dvigateli [Aviation gas turbines] / G. P. Skubachevskij. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 544 p. [in Russian]

6. Holshhevnikov K. V., Emin O. N., Mitrohin V. T. Teorija i raschet aviacionnyh lopatochnyh mashin [Theory and design of aviation turbomachinery] / K. V. Holshhevnikov, O. N. Emin, V. T. Mitrohin. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 432 p. [in Russian]
7. Dejch M.E. Gazodinamika reshjotok turbomashin [Gas dynamics of cascade of turbomachines] / M. E. Dejch. – M.: Jenergoatomizdat, 1996. – P. 528.
8. Abianc V.H. Teorija aviacionnyh gazovyh turbin [Theory of aviation gas turbines] / V. H. Abianc. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 216 p. [in Russian]
9. Panov D.O. Ispol'zovanie ANSYS CFX dlja prognozirovaniya harakteristik reshetki soplovyh lopatok gazovoj turbiny s profilirovannoj torcevoj stenкой [Using ANSYS CFX for predicting the characteristics of a gas turbine nozzle guide vane cascade with a profiled end wall] / D. O. Panov, E. M. Smirnov, V. V. Ris // Zhurnal ANSYS ADVANTAGE. Russkaja redakcija [Journal ANSYS ADVANTAGE. Russian edition]. – 2012. – V. 17. – P. 33–38. [in Russian]
10. Venediktov V.D. Atlas jeksperimental'nyh harakteristik ploskih reshetok ohlazhdaemyh gazovyh turbin [Atlas of experimental characteristics of flat cascade of cooled gas turbines] / V. D. Venediktov, A. V. Granovskij. – M.: CIAM, 1990, – 393 p. [in Russian]
11. Bunker R. P. Axial turbine blade tips: Function, design, durability / R. S Bunker // Journal of propulsion and power. – 2006. – Vol.22. – № 2. – P. 271–285.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.087>

Ле Тьен Зыонг¹, Нестеренко В.Г.²

¹Аспирант, ²кандидат технических наук

Московский авиационный институт

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТУРБИН ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С БАНДАЖНОЙ ПОЛКОЙ

Аннотация

На основании результатов проведенных исследований, двухмерных и трехмерных расчетов теплонапряженного состояния бандажированных лопаток ТВД, сформулированы рекомендации по их оптимальному проектированию. Особенно актуально проведенное исследование для современных высокотемпературных ТВД, в которых бандажные полки на рабочих лопатках турбин практически не применяются. Показано, что при эффективной системе конвективно-плёночного охлаждения критичных участков пера лопатки и самой полки её можно установить на лопатках ТВД, тем самым обеспечив повышение КПД и уровня её надёжности и ресурса.

Ключевые слова: рабочая лопатка, бандажная полка, турбина высокого давления, температура, напряжение, плёночное охлаждение.

Le Tien Ziong¹, Nesterenko V.G.²

¹Postgraduate student, ²PhD in Engineering

Moscow Aviation Institute

FEATURES OF DESIGN OF COOLED BLADES OF HIGH-TEMPERATURE HIGH-PRESSURE TURBINES WITH PLATFORMS

Abstract

The recommendations on the optimal design of shrouded blades of a turbo-propeller engine are formulated based on the results of the conducted studies with two-dimensional and three-dimensional calculations of the heat-stressed state of shrouded turbo-propeller engine blades. This study is particularly relevant for modern high-temperature turbo-propeller engines, in which platforms on turbine blades are practically not used. It is shown that with an effective system of convective-film cooling of critical sections of the blade airfoil and the shelf itself, it can be installed on the blades of turbo-propeller engines, thereby ensuring an increase in efficiency and the level of its reliability and life cycle.

Keywords: working blade, platform, high pressure turbine, temperature, strain, film cooling.

Актуальность данной работы состоит в том, что в охлаждаемых лопатках ТВД имеются высокие дополнительные потери энергии газа, связанные с необходимостью утолщения профильной части лопаток из-за размещения каналов охлаждения. Как известно, постановка бандажной полки позволяет уменьшить концевые гидравлические потери из-за потерь энергии газа при его перетекании в радиальном зазоре с корыта на спинку профиля. Установка бандажных полок исключает эти перетекания [1]. Однако, появляются новые, так называемые вторичные потери энергии газа, связанные с перетечками газа на нижней стороне полки с корыта на спинку профиля [2].

Кроме того, появляются дополнительные напряжения растяжения в несущей части лопатки от действия центробежных сил, связанных с постановкой самой полки [3]. Поэтому при установке бандажной полки одновременно надо решить две дополнительные задачи. Первая заключается в том, что надо обеспечить прочность самой полки от действия изгибных напряжений, для чего места её заделки на корыте и спинки профильной части лопатки, на её периферии, необходимо интенсивно охлаждать [4], [5]. Кроме того, необходимо исключить наличие перегревов всех частей полки от действия температуры газа, омывающую её внутреннюю и наружную сторону, что особенно сложно обеспечить на концах гребней лабиринтных уплотнений.

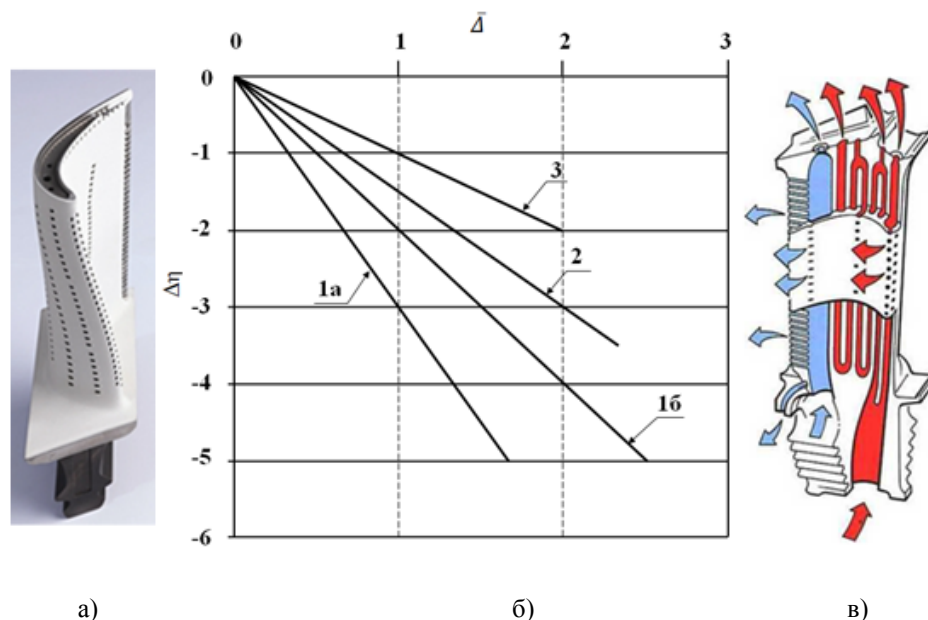


Рис. 1 а) и в) - лопатки без бандажной полки и с бандажной полкой;
 б) зависимость потери КПД ступени турбин от величины относительного радиального зазора для бандажированных и не бандажированных лопаток;

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{h} - \text{относительный радиальный зазор (\%); } \Delta\eta - \text{потери КПД ступени (\%)}$$

Саму несущую часть лопатки также требуется дополнительно охлаждать, применить более эффективное теплозащитное покрытие или более высокопрочный материал лопатки с целью компенсации повышенных напряжений, возникающих в критическом сечении пера лопатки вследствие установки бандажной полки [6, 7, 8]. Все эти задачи рассмотрены в данной работе и сформулированы рекомендации, которые способствуют применению бандажной полки на вновь проектируемых лопатках высокотемпературных ТВД. Ниже, на рис. 1(б) представлены данные по сравнительной эффективности бандажированных [9], рис. 1(а) не бандажированных, рис. 1(в) бандажированных лопаток ТВД.

Лопатка с бандажной полкой, показанная на рис. 1(в), имеет охлаждаемое перо и, по существу, не охлаждаемую бандажную полку. Через полку осуществляется выход воздуха, охлаждающего профильную часть пера лопатки. При установке бандажной полки на перо лопаток современных высокотемпературных турбин её также необходимо охлаждать, используя как конвективную, так и плёночную системы охлаждения, в зависимости от уровня температуры поверхности полки. Таким образом, в современных высокотемпературных ТВД бандажные полки также должны охлаждаться, аналогично тому, как охлаждается профильная часть пера лопатки, омываемая горячим газом. Охлаждение бандажной полки струями холодного воздуха, направляемыми из объема корпуса через «плавающую» ставку, расположенную над кромками пера лопатки не целесообразно, поскольку для этих целей требуется большое количество охлаждающего воздуха, а её эффективность низкая.

Кривые 1-а и 1-б рисунка 1 относятся к не бандажированным лопаткам турбин. При этом, верхняя кривая 1-б относится к лопаткам, у которых внедрены мероприятия по снижению величины перетекания газа в радиальном зазоре. Например, когда лопатка в радиальном направлении выполняется S-образной, с наклоном на спинку профиля, увеличивается давление газа на спинке профиля и уменьшается градиент давления и перетекание газа в радиальном зазоре. Таким образом спроектирована лопатка ТВД ТРДД SAM 146 (рис. 2).

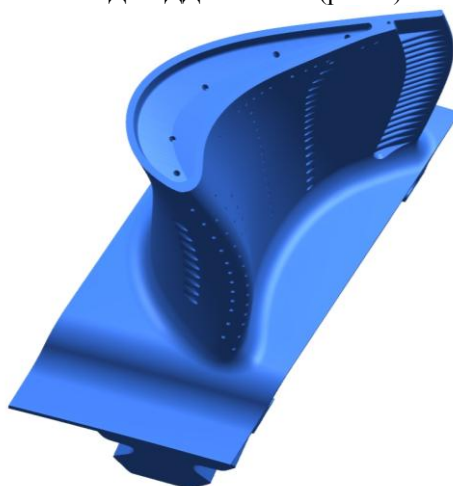


Рис. 2 – Рабочая лопатка ТВД ТРДД SAM 146 с наклоненной S-образной профильной частью пера

Другая задача, связанная с установкой бандажной полки, относится к увеличению центробежной нагрузки на перо лопатки, что может быть недопустимо в критическом сечении пера лопатки, где возникает минимальный запас прочности [10]. Обычно это сечение находится на расстоянии, примерно равном одной трети от высоты пера в нижней части лопатки.

На рис. 3 показано распределение напряжений растяжений от действия центробежных сил на режиме «максимал» - $H = 0$, $M = 0$, по высоте охлаждаемой лопатки турбины, геометрия которой близка к реальной лопатке ТРДДф РД 33, при отсутствии бандажной полки и при её наличии. Как видно из приведенного примера, уровень напряжений по высоте этой лопатки увеличивается значительно. Следует обратить внимание на то, что в сечении пера лопатки, на высоте 15 мм от корня, рост этих напряжений составил значительную величину, примерно 70 % от исходного значения. Очевидно, что эту часть лопатки необходимо более существенно охлаждать, например, ввести плёночное или щелевое охлаждение. Что касается остальных частей лопатки, находящихся сверху и снизу от критического, то эти области допускают какое-то увеличения напряжений растяжения, т.е. проектируемую лопатку можно сделать более равнопрочной, имеющую допустимую величину запаса прочности по всей её высоте.

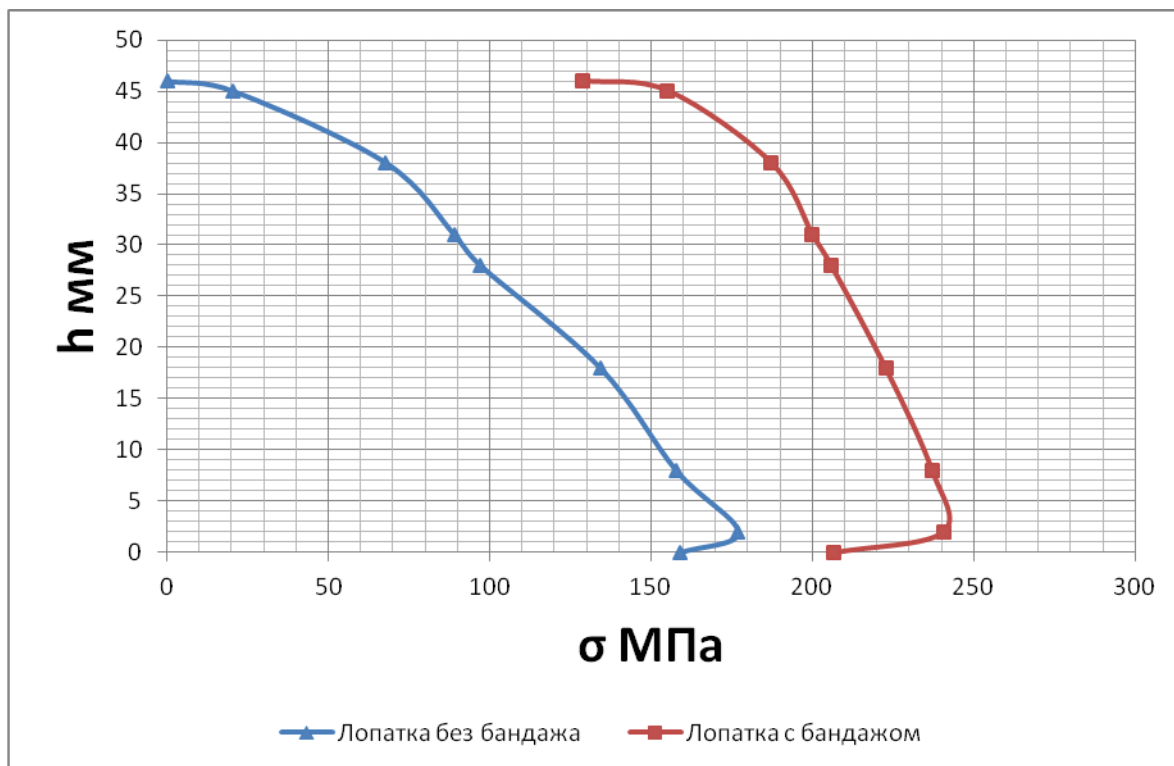


Рис. 3 – Напряжение растяжения по высоте лопаток турбин

На рис. 4 показаны различные конфигурации охлаждаемых лопаток рабочего колеса ТВД, интенсивность охлаждения которых зависит также от используемого расхода охлаждающего воздуха. В настоящее время

Другим способом является увеличение расхода охлаждающего воздуха. Однако конструктивно предельная величина охлаждающего воздуха ограничивается размерами корневых сечений рабочей лопатки ТВД.

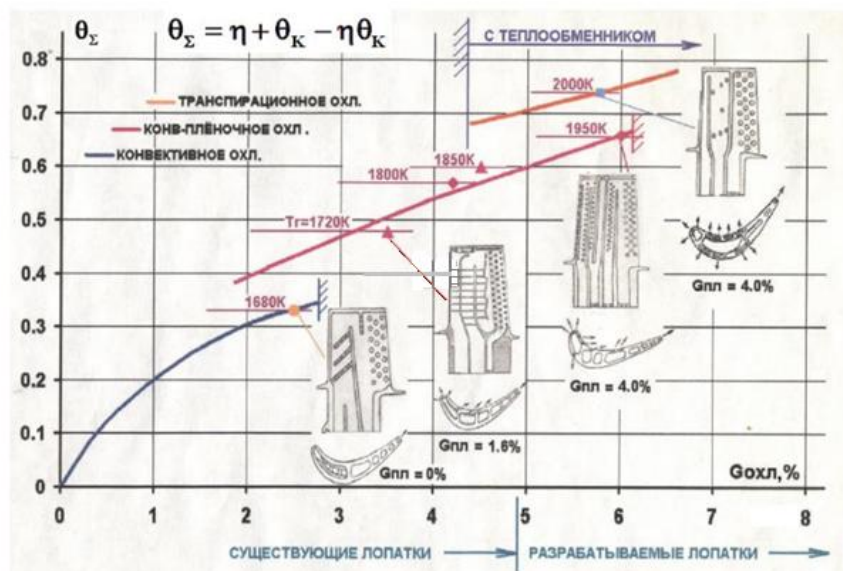


Рис. 4 – Эффективность охлаждения рабочих лопаток высокотемпературных ТВД

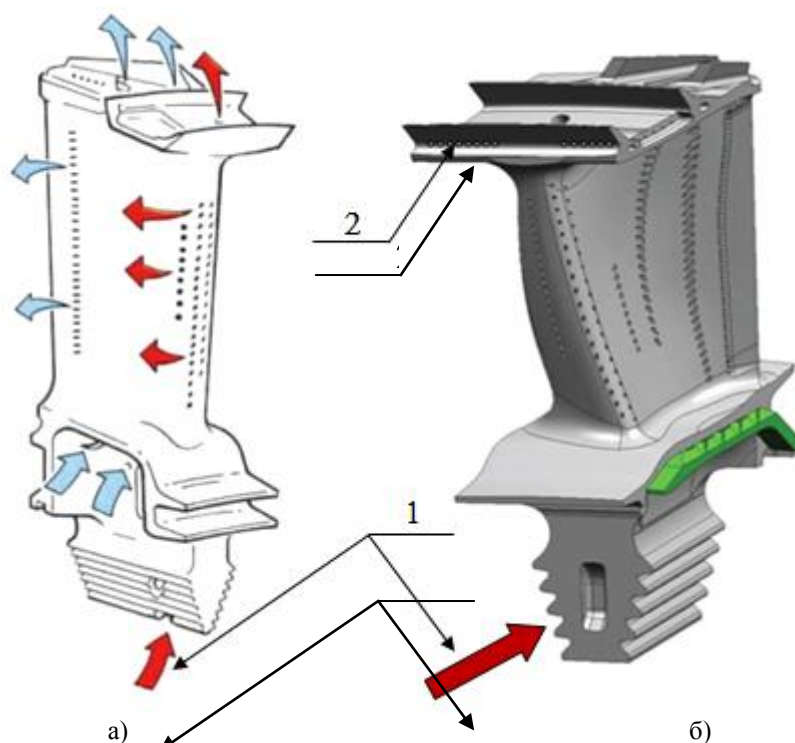


Рис. 5 – Полочные лопатки ТВД с конвективно плёночным охлаждением профильной части пера и полки, отличающиеся местоположением каналов входа и выхода охлаждающего воздуха

На рис. 5 показаны две лопатки, в которых дополнительный подвод охлаждающего воздуха осуществляется через торец замка и боковые каналы, выполненные на переходной полке, рис. 5(а). На рис. 5(б) охлаждающий воздух подводится через дополнительный канал, выполненный на переднем торце замка.

Сложной и ответственной технической задачей является обеспечение прочности самой бандажной полки, устанавливаемой на торце лопатки ТВД. Полка требует охлаждения. Наиболее эффективно пленочное охлаждение, осуществляемое в месте полки, где возникают максимальные напряжения. Для этого охлаждающий воздух должен выходить не в перпендикулярном направлении относительно бандажной полки, а «омывать» ее поверхность, т.е. необходимо конструктивно обеспечить ее пленочное охлаждение. Максимальные напряжения бандажной полки возникают в переходной части от пера лопатки к полке. Там возникают изгибные напряжения, которые зависят от объема полки, расположенной со стороны корыта или спинки профиля лопатки.

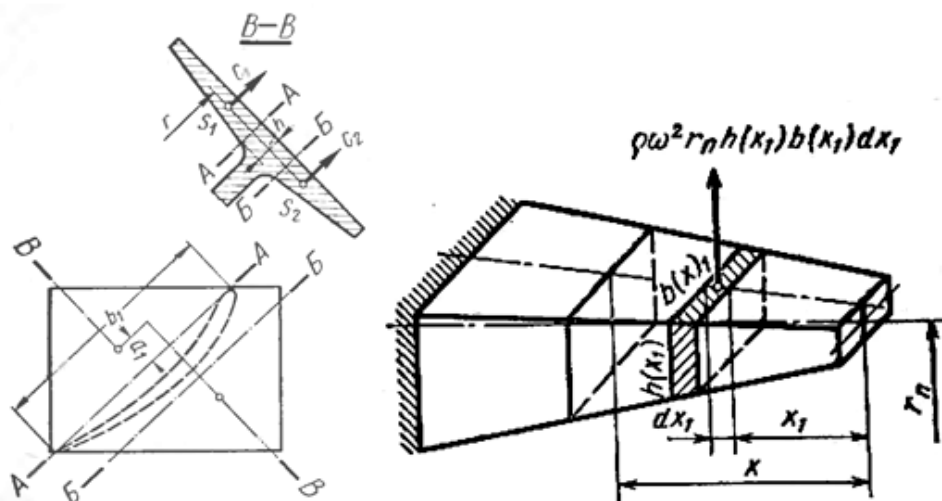


Рис. 6 – Изгиб бандажной полки рабочей лопатки турбин от действий центробежных сил

На рис. 6 показано поперечное сечение бандажной полки и приложенные центробежные силы, имеющиеся со стороны корыта и спинки профиля, которые создают изгибающие напряжения, максимальные в переходной части пера лопатки к бандажной полке. Именно в этом месте необходимо иметь минимальную температуру металла, с учетом того, что на вогнутой стороне всегда температуры газа выше чем на его выпуклой стороне. Поэтому бандажная полка с вогнутой стороны профильной поверхности пера лопатки должна иметь максимальное охлаждение. Кроме того сама форма бандажной полки должна быть таковой, чтобы на горячей стороне полки имела место минимальная центробежная сила, зависящая от того как эта полка спроектирована.

На рис. 7 представлены варианты проектирования бандажной полки лопатки ТВД, отличающиеся массы полки, расположенной со стороны корыта и спинки профиля, а также местоположения контактной поверхности, по которым индивидуальные лопатки соединяются в не разрывное кольцо, имитирующего «заделку» балки и снижающую уровень вибрации лопаточного аппарата. Показаны выходные отверстия каналов конвективного охлаждения полки, через которые охлаждающий воздух выходит на критичные поверхности бандажной полки и обеспечивает ее работоспособность.

Действующий уровень напряжения и запас прочности по описанной выше методике могут обеспечить возможность использования бандажных полок в лопатках ТВД современных и перспективных ГТД.

На рис. 8 показаны разновидности бандажных полок охлаждаемых рабочих лопаток ТВД, где на рис. 8(а) показана полная полка, обеспечивающая одновременно контакт лопаток между собой и полное перекрытие радиального зазора между ротором со статором ГТД. На рис. 8(б), эта полка облегчена, она имеет вырезы со стороны корыта и спинки лопатки, поэтому эта бандажная полка не в полном мере перекрытие радиального зазора.

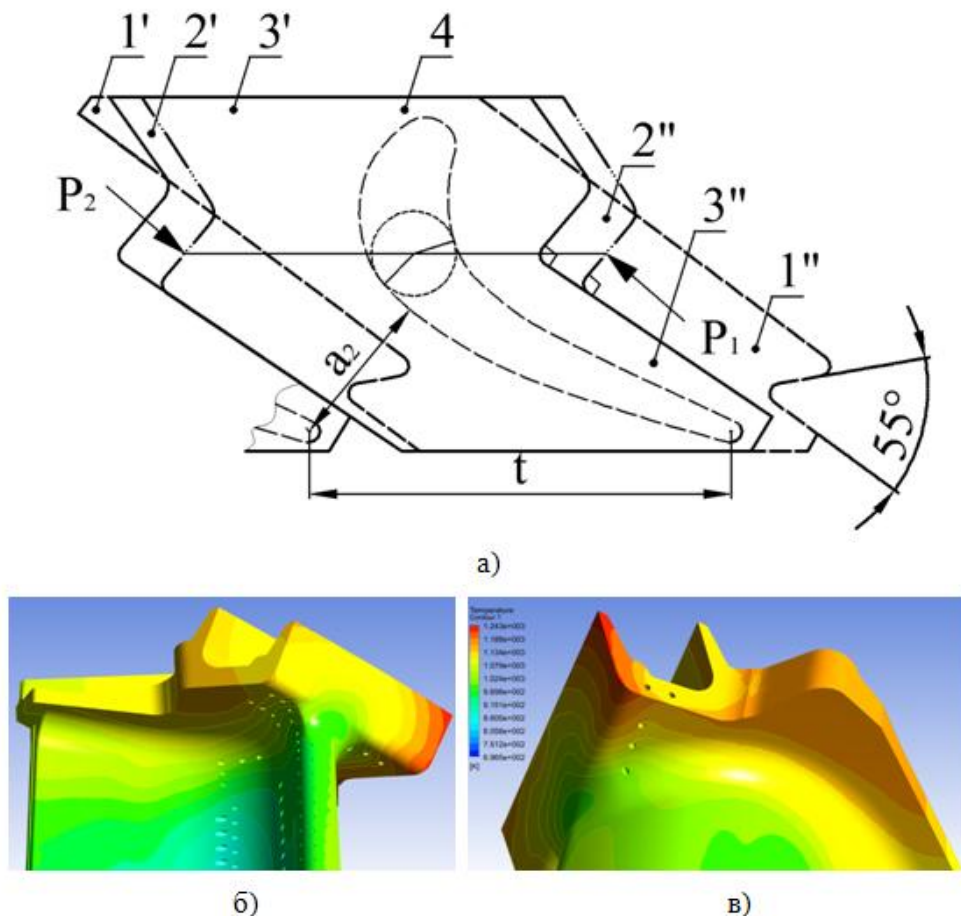


Рис. 7 – а) Разновидности бандажной полки, отличающиеся: площадью поверхности и массой полки со стороны корыта и спинки (1); 2 – профиль периферийного сечения рабочей лопатки турбины; 3- контактные поверхности сопрягаемых полок; t – шаг между профилями периферийного сечения пера лопатки; P_2 и P_1 – силы; a_2 – горло решётки; 4 - профиль лопатки; б) и в) варианты расчетов температурного состояния бандажной полки и подполочного сечения пера лопатки со стороны корыта и спинки бандажированной лопатки ТВД

На фигуре 8(в) показана лопатка с интенсивным охлаждением, однако ее бандажная полка сокращена до минимума, остался не большой кусочек полки, разделяющий вогнутую и выпуклую сторону профильной поверхности лопатки, и тем сам несколько уменьшающий количества газа, перетекающего через открытый радиальный зазор. Как мы видим, гребней лабиринтного уплотнения на этой полке нет, поэтому ее уплотняющая способность уменьшается.

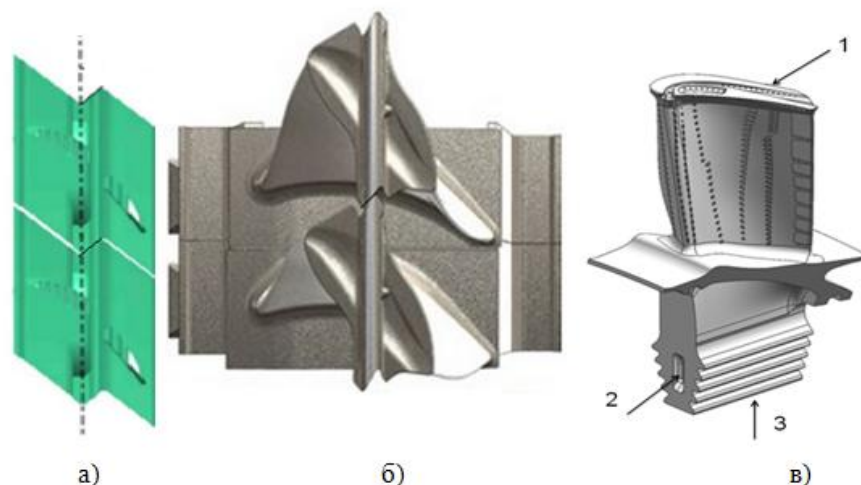


Рис. 8 – Разновидности бандажных полок рабочих лопаток ТВД а) полная бандажная полка; б) частичная облегченная бандажная полка; в) частичная бандажная полка, не имеющая соединения с соседними лопатками, предназначенная для снижения перетекания в радиальном зазоре

Выводы и рекомендации:

Рассмотренные примеры проектирования и результаты вариантных расчетов по оптимизации системы охлаждения и конфигурации бандажных полок роторных лопаток ТВД показали, что бандажная полка в ряде случаев может быть установлена в полном или не полном виде на этих лопатках, в результате чего повышается уровень КПД, надежности и ресурса проектируемой ТВД.

Список литературы/ References

1. Вьюнов С. А. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / С. А. Вьюнов, Ю. И. Гусев, А. В. Карпов и др.; под общ. ред. д-ра техн. наук Хронина Д. В. – М.: Машиностроение, 1989, 368 с.
2. Иноземцев А. А. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник для ВУЗов. В 5 т. Т. 2. Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. – М.: Машиностроение, 2008. – 365 с.
3. Крюков А. И. Некоторые вопросы проектирования ГТД / А.И. Крюков. – М.: МАИ. 1993. – 336 с.
4. Ле Т. З. Методы обеспечения конструкционной прочности бандажных полок и оптимизации числа охлаждаемых лопаток высокотемпературных турбин газогенераторов современных авиационных двигателей / Т. З. Ле, В. Г. Нестеренко // Сборник Научно-технической конференции. – Т. 2. – Рыбинск: РГАТУ имени П. А. Соловьева. 2015. С. 77–80.
5. Ле Т. З. Оптимизация системы конвективно-плёночного охлаждения бандажных полок рабочих лопаток высокотемпературных ТВД / Т. З. Ле, В. Г. Нестеренко // Сборник тезисов Международной конференции «Авиация и космонавтика». – М.: МАИ. 2016. С. 302–303.
6. Ле Т. З. Конструктивное совершенствование критичных узлов и деталей современных и перспективных авиационных двигателей летательных аппаратов / Т. З. Ле, В. И. Богданович, Ревант Редди Аббаварам // Сборник тезисов докладов Международной конференции «Гагаринские чтения». Т. 3. – М.: МАИ. 2016. – С. 50–51.
7. Ле Т. З. Методика проектирования профильной части бандажированных лопаток ротора турбины высокого давления ГТД / Т. З. Ле, В. Г. Нестеренко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – №4. – С. 54–57.
8. Матушкин А. А. Методика проектирования рабочей лопатки турбины высокого давления ГТД с щелевым охлаждением / А. А. Матушкин, В. Г. Нестеренко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 307–310.
9. Bunker R. P. Axial turbine blade tips: Function, design, durability/ R. S Bunker// Journal of propulsion and power. – 2006. – Vol. 22. – № 2. – P. 271-285.
10. Манушин Э. А. Конструирование и расчет на прочности турбомашин газотурбинных и комбинированных установок / Э. А. Манушин, И. Г. Суровцев. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. V'junov P. A. Konstrukcija i proektirovanie aviacionnyh gazoturbinnnyh dvigatelej [The construction and design of aircraft gas turbine engines] / P. A. V'junov, Ju. I. Gusev, A. V. Karpov and others; edited by PhD in Engineering Hronina D. V. – М.: Mashinostroenie, 1989, 368 p. [in Russian]
2. Inozemcev A. A. Osnovy konstruirovaniya aviacionnyh dvigatelej i jenergeticheskikh ustanovok: Uchebnik dlja VUZov. V 5 t. T. 2. Kompressory. Kamery sgoranija. Forsazhnye kamery. Turbiny. Vyhodnye ustrojstva [Design principles of aircraft engines and power plants: Textbook for High Schools. In 5 vol. Vol. 2. Compressors. Combustion chambers. Afterburners. Turbines. Output Devices] / A. A. Inozemcev, M. A. Nihamkin, V. L. Sandrackij. – М.: Mashinostroenie, 2008. – 365 p. [in Russian]
3. Krjukov A. I. Nekotorye voprosy proektirovanija GTD [Some questions about designing a GTE] / A.I. Krjukov. – М.: МАИ. 1993. – 336 p. [in Russian]
4. Le T. D. Metody obespechenija konstrukcionnoj prochnosti bandazhnyh polok i optimizacii chisla ohlazhdaemyh lopatok vysokotemperaturnykh turbin gazogeneratorov sovremennyh aviacionnyh dvigatelej [Methods for ensuring the structural strength of the shrouds and optimizing the number of cooled blades in high-temperature turbines of gas generators

used in modern aircraft engines] / T. D. Le, V. G. Nesterenko // Sbornik Nauchno-tehnicheskoy konferencii. – T. 2. – Rybinsk: RGATU imeni P. A. Solov'eva [Collection of the Scientific and Technical Conference. - Vol. 2. - Rybinsk: Rybinsk State Aviation Technical University]. 2015. pp. 77–80. [in Russian]

5. Le T. D. Optimizacija sistemy konvektivno-pljonochnogo ohlazhdenija bandazhnyh polok rabochih lopatok vysokotemperaturnyh TVD [Optimization of convective-film cooling system of the turbine blade shroud of the high-temperature HPT] / T. D. Le, V. G. Nesterenko // Sbornik tezisov Mezhdunarodnoj konferencii «Aviacija i kosmonavtika» [Proceedings of the International Conference "Aviation and Cosmonautics"]. – M.: MAI. 2016. pp. 302–303. [in Russian]

6. Le T. D. Konstruktivnoe sovershenstvovanie kritichnyh uzlov i detalej sovremennyh i perspektivnyh aviacionnyh dvigatelej letatel'nyh apparatov [Improvements in construction of critical units and parts of modern and future aviation aircraft engines] / T. D. Le, V. I. Bogdanovich, Revant Reddi Abbavaram // Sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoj konferencii «Gagarinskie chtenija» [Proceedings of the International Conference "Gagarin Readings"]. V. 3. – M.: MAI. 2016. – pp. 50–51. [in Russian]

7. Le T. D. Metodika proektirovanija profil'noj chasti bandazhirovannyh lopatok rotora turbiny vysokogo davlenija GTD [Design methodology of the shrouded blade profile of the high-pressure turbine rotors of a gas turbine engine] / T. D. Le, V. G. Nesterenko // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja [Scientific and Technical Volga Region Bulletin]. – 2017. – № 4. – P. 54–57. [in Russian]

8. Matushkin A. A. Metodika proektirovanija rabochej lopatki turbiny vysokogo davlenija GTD s shhelevym ohlazhdeniem [Method of designing the blades of high-pressure turbines of a GTE with slot cooling] / A. A. Matushkin, V. G. Nesterenko // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja [Scientific and Technical Volga Region Bulletin]. – 2012. – № 6. – P. 307–310. [in Russian]

9. Bunker R. P. Axial turbine blade tips: Function, design, durability / R. S Bunker // Journal of propulsion and power. – 2006. – Vol.22. – № 2. – P. 271-285.

10. Manushin Je. A. Konstruirovanie i raschet na prochnosti turbomashin gazoturbinnnyh i kombinirovannyh ustanovok [Design and calculation of the strength characteristics of turbo machines like gas turbine and combined power plants] / Je. A. Manushin, I. G. Surovcev. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 400 p. [in Russian]

«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.

OpenAIRE — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.108>Калимуллин А. Т.¹, Лесков И. А.², Грабовецкая К. А.³, Онищенко Р. А.⁴, Морозов П. В.⁵

¹Аспирант, ассистент кафедры Электроснабжение промышленных предприятий, ²студент 2 курса, Факультет элитного образования и магистратуры, ³студент 1 курса, Факультет элитного образования и магистратуры, ⁴студент 2 курса, Энергетический факультет, ⁵студент 1 курса, Факультет элитного образования и магистратуры, Омский Государственный Технический Университет, Омск, РФ.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ, МЕТОДОВ РАСЧЕТА, АНАЛИЗА И ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРГАРМОНИК В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация

Понятие качества электрической энергии базируется на принятых установленных значениях ее параметров: частоты, напряжения, формы кривой. Отклонение от нормативных значений этих параметров влечет за собой изменение регламентированного режима работы приемников электроэнергии, что сказывается на производительности производств, качестве продукции, сроке службы оборудования, подключенного к электросети. Существенное повышение стандартов качества электроэнергии напрямую связано с бурным развитием IT-отрасли. Компьютерное оборудование должно надежно защищаться от помех, провалов напряжения, высокочастотных шумов колебаний, искажения формы кривой напряжения. Все это вызывает сбои при коммуникации оборудовании и передаче данных. Именно поэтому вопросы, касающиеся анализа и измерения интергармоник в СЭС актуальны.

Ключевые слова: качество электроэнергии, гармоники, интергармоники, амплитудный спектр тока.

Kalimullin A.T.¹, Leskov I.A.², Grabovetskaya K.A.³, Onishchenko R.A.⁴, Morozov P.V.⁵

¹Postgraduate student, Assistant of the Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, ²Second year student, Faculty of Elite Education and Magistracy, ³First year student, Faculty of Elite Education and Magistracy, ⁴Second year student, Energy Faculty, ⁵First year student, Faculty of Elite Education and Magistracy, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation.

INVESTIGATION OF NORMATIVE BASE, METHODS OF CALCULATION, ANALYSIS AND MEASUREMENT OF INTERHARMONICS IN ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

Abstract

The concept of the quality of electrical energy is based on the accepted set values of its parameters: frequency, voltage, shape of a curve. The deviation from the normative values of these parameters entails a change in the regulated mode of operation of the receivers of electricity, which affects the productivity of production, the quality of the products, the service life of equipment connected to the power grid. A significant increase in the quality standards for electricity is directly related to the rapid development of the IT industry. Computer equipment must be reliably protected from interference, voltage dips, high-frequency noise, distortion of the shape of the voltage curve. All this causes malfunctions in communication equipment and data transmission. That is why the questions concerning the analysis and measurement of interharmonics in HIS are relevant.

Keywords: quality of electric power, harmonics, interharmonics, amplitude spectrum of current.

Интергармоники – относительно новый показатель качества электрической энергии. В Европе он был официально введен стандартом EN 50160, выпущенном в 1994 году. На сегодняшний день в большинстве стран мира нормирование интергармоник не является обязательным, а нормативы и стандарты, разработанные для этого показателя, носят рекомендательный характер. Это связано с тем, что природа и методы анализа интергармоник все еще являются новыми видами исследований, по отношению к которым отмечается повышенный интерес со стороны ученых и технических специалистов.

Наиболее точные и согласованные требования к показателям качества электроэнергии, включая интергармоники, были выработаны Международной электротехнической комиссией. Исследование данной темы позволяет успешно решать задачу электромагнитной совместимости, а именно задачи, связанные с теорией и практикой несинусоидальных режимов, обусловленных наличием таких оставляющих в кривых тока и напряжения, как высшие гармоники, субгармоники и интергармоники [1, С. 230].

Цель данной работы является рассмотрение вопросов нормирования, моделирования и расчета высших гармоник и интергармоник, выявление источников и причин возникновения интергармоник в промышленных предприятиях. А также приведение наиболее энергетически эффективных методов моделирования и расчета интергармоник в электроэнергетических сетях России.

Задачей, решаемой в данной работе, является предложение наиболее эффективных методов расчета интергармоник, основанных на спектрально-корреляционной теории для случайных процессов и метод дискретного преобразования Фурье, а также методы устранения высших гармоник с помощью активных фильтров и фильтро-компенсирующих устройств (ФКУ).

В данное время известно большое количество работ, касаемо темы анализа, расчета и минимизации высших гармоник (Шидловский А.К., Жежеленко И.В., Куренный Э.Г., Кузнецов В.Г. и др.). За рубежом данной проблеме также уделяется большое внимание (Аррилага Д., Бредли Д., Боджер П. и др.).

Несомненная актуальность данной темы заключается в том, что интергармоники могут появляться на любом уровне напряжения, перетекать из одной части энергосистемы в другую, оказывают деформирующее действие на кривые токов, что в свою очередь ведет к электрическим потерям в этой сети.

Интергармоники в стандартах качества электроэнергии

Согласно [1, С. 233], интергармоники представляют собой составляющие частот, которые не являются по своему значению кратными частотам электрической сети. Математическое описание этого определения выглядит следующим образом (показатель f_1 представляет частоту питающей сети):

Гармоника: $f = h f_1$, где $h > 0$ (h – целое число).

Интергармоника: $f \neq h f_1$, где $h > 0$ (h – целое число).

Субгармоника: $0 < f < f_1$

Из приведенной математической модели видно, что интергармоники в частотном спектре располагаются между высшими гармониками, а также между постоянной составляющей и основной гармоникой. С этой точки зрения субгармоники представляют собой частный случай интергармоник.

Согласно [2, С. 2] несинусоидальность характеризуется следующими показателями:

- коэффициент искажения несинусоидальности напряжения;
- коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения,

Которые оцениваются по 40 гармоникам.

В стандартах качества электрической энергии показатели величин интергармоник стали появляться относительно недавно. На сегодняшний день в России и за рубежом разработано несколько документов, нормирующих данный показатель качества электрической энергии:

- МЭК 61000-4-30:2008, второе издание (Международный стандарт).
- МЭК 61000-4-7: 2002, второе издание (Международный стандарт).

В Российской Федерации основным документом, определяющим требования к показателям качества электроэнергии, включая связанные с интергармоническими составляющими, является ГОСТ Р 51317.4.30–2008. В этом государственном стандарте прописаны основные требования к процессу измерения показателей качества электрической энергии: контроль продолжительности измерений, объединение полученных результатов во времени.

Основная сложность определения интергармоник связана с нестабильностью их величины и частоты. Для нормирования таких показателей применяются коэффициенты искажения синусоидальной формы напряжения и n -ой гармоники. Для того чтобы получить достоверные данные применяют не меньше 9 наблюдений, после чего выполняют усреднение полученных данных. Коэффициенты искажения определяются по формулам [3, С. 171]:

$$K_{U_{ni}} = \frac{U_{ni}}{U_1} 100 \approx \frac{U_{ni}}{U_n} 100 \quad (1)$$

$$K_{U_{ni}} = \frac{100}{U_{i1}} \sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{ni}^2} \approx \frac{100}{U_n} \sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{ni}^2} \quad (2)$$

Для нормирования качества электрической энергии по показателю несинусоидальности проводят измерения в течение 24 часов. Если наибольшее из полученных коэффициентов несинусоидальности не превышает заданного предельно допустимого для конкретной гармонической составляющей.

Несинусоидальность напряжения во всех стандартах оценивается по коэффициентам искажения синусоидальности напряжения и n -ой гармонической составляющей [4, С. 2337].

Электроприемники, являющиеся источниками интергармоник

Интергармоники появляются в результате действия двух различных механизмов:

1. Возникновение дополнительных составляющих частот в сетевом напряжении из-за изменения амплитуды или фазового угла. Причина таких явлений – резкое изменение величины тока, потребляемого оборудованием, в результате чего появляются возмущения переходных режимов случайного характера.

2. Появление интергармонических составляющих напряжения из-за переключения полупроводниковых устройств, которые являются частью статических преобразователей. Яркий пример этого механизма – приборы частотно-импульсной модуляции или преобразователи частоты, которые являются причиной появления интергармоник в любой части спектра питающей сети.

Интергармоники могут появляться на любом уровне напряжения, перетекать из одной части энергосистемы в другую. Так, интергармонические составляющие, которые появились в сети высокого напряжения, могут появиться и в низковольтной сети. Амплитуда этих составляющих практически никогда не превышает 0,5% от амплитуды колебаний основной частоты.

В [3, С. 134] перечислены основные источники интергармоник: статические частотные преобразователи, циклоконвертеры, регулируемые приводы скорости для синхронных и индукционных двигателей, каскады подсинхронных преобразователей дуговые печи и другие типы нагрузок, которые не создают пульсаций, синхронных с основной частотой.

В отечественных источниках в качестве основной причины появления интергармоник указываются циклоконвертеры, которые представляют собой преобразователи частоты статического типа. Сетевой ток для циклоконвертера описывается следующим образом:

$$f_i = (p_1 m \pm 1) f_1 + p_2 n f_2 \quad (3)$$

где p_1 характеризует количество пульсаций на входе устройства;

p_2 – количество пульсаций на выходе;

f_1 и f_2 – входная и выходная частота, соответственно.

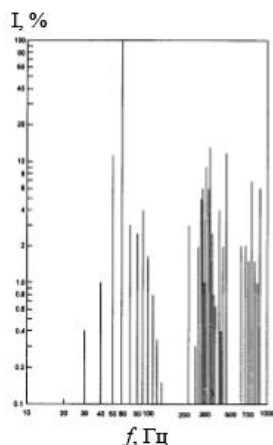


Рис. 1 – Амплитудный спектр входного тока, характерный для циклоконвертера согласно (3)

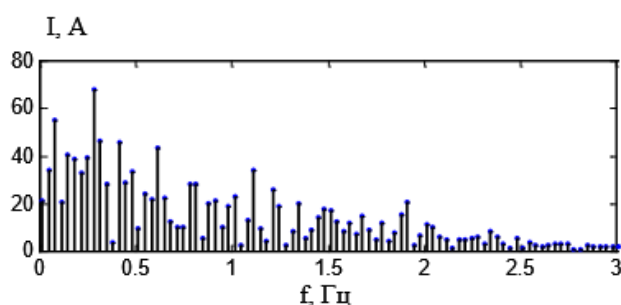


Рис. 2 – Амплитудный спектр входного тока, характерный для печи ДСП согласно (3)

Еще один распространенный источник интергармоник – устройства, предусматривающие горение дуги. Из-за нелинейной вольт-амперной характеристики дуговые сварочные аппараты и ДСП становятся причиной появления колебаний, искажающих форму напряжения в сети. Искажения такого рода характеризуются случайным появлением.

Еще один источник интергармоник – асинхронные двигатели. Такие двигатели с короткозамкнутым ротором, подключение которых выполняется через асинхронные преобразователи, генерируют интергармоники, снижающие качество электрической энергии.

В качестве промежуточного вывода можно отметить, что основными источниками интергармоник выступает нагрузка, которая постоянно или в короткие периоды времени работают в переходных режимах. Эти режимы могут описываться периодичностью или носить случайный характер.

Негативное влияние интергармоник на системы электроснабжения. Методы устранения интергармоник

Согласно [5, С. 332], интергармоники оказывают деформирующее действие на кривые токов в электросистемах промпредприятий. Искажение формы кривой тока и напряжения повышает электрические потери в этой сети. На рис. 3 приведена энергетическая диаграмма, которая описывает распределение активной составляющей мощности в случае, когда к сети подключена нелинейная нагрузка.

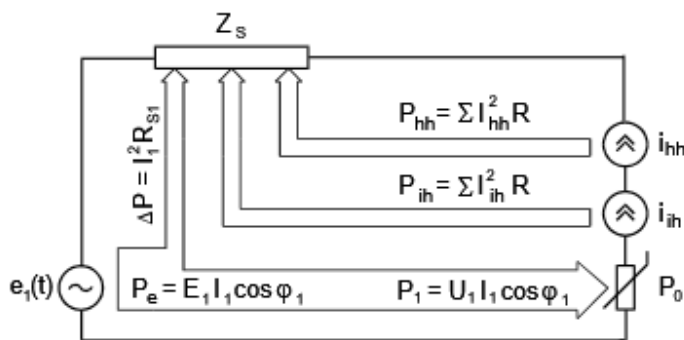


Рис. 3 – Энергетическая диаграмма для сети с нелинейной нагрузкой

Из-за появления высших гармоник и интергармоник отмечается снижение эффективности распределения электроэнергии, увеличение нагрева оборудования, уменьшение нормативного срока службы изоляции электрооборудования.

Другие негативные последствия появления интергармонических составляющих напряжения и тока:

- мерцание светового потока, который называется фликером и вызывается наложением интергармоники на основную гармонику питающей сети;
- помехи в прохождении управляющих сигналов, которые передаются по низкочастотным линиям;
- перегрузка полосовых или резонансных фильтров, установленных в сети.

Как показывает практика, влияние интергармоник на электрическую сеть аналогично воздействию высших гармоник. При этом нормативные документы и стандарты на сегодняшний день не предусматривают требований оценки несинусоидальности напряжений. Данный вопрос требует дальнейшего изучения и четкого регламентирования. При этом основная задача такой работы – снижение уровня интергармоник в энергосистемах для повышения качества электрической энергии.

На сегодняшний день методы устранения интергармоник аналогичны методам, применяемым для устранения влияния высших гармоник в электросетях. В первую очередь, сюда относятся силовые резонансные фильтры или ФКУ (фильтро-компенсирующие устройства, которые являются неотъемлемой частью быстродействующих статических компенсаторов) [6, С. 3]. Сложность в использовании таких фильтров состоит в значительной установленной мощности и необходимости использовать несколько таких устройств одновременно. Еще одна сложность – неэффективность использования ФКУ при сложном характере амплитудного спектра.

Еще один способ устранения интергармонических составляющих спектра – установка активных фильтров (АФ). Эти устройства представляют собой источники реактивного тока по основной гармонике и токов высоких гармоник и интергармоник. То есть, АФ осуществляют не устранение, а компенсацию составляющих спектра, снижающих качество электрической энергии. На рис. 4 приведена схема включения параллельного и последовательного включения АФ [7, С. 47].

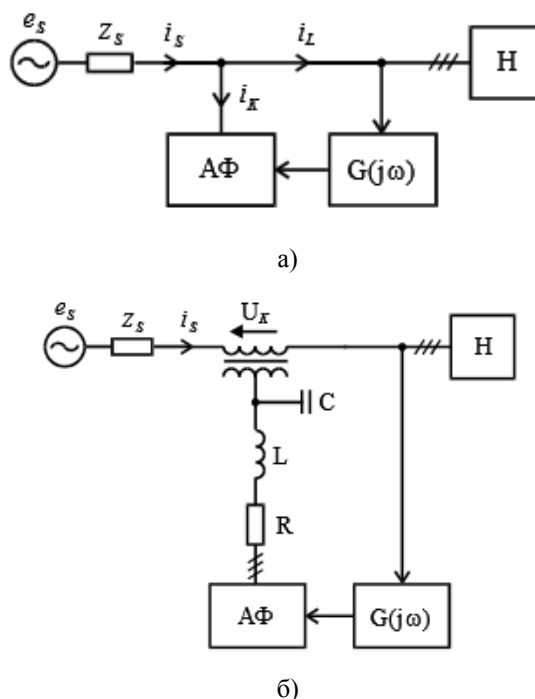


Рис. 4 – Схема включения параллельного (а) и продольного (б) АФ

В [8, С. 143] приведена оценка метода дискретного преобразования Фурье, который рекомендован для контроля параметров интергармоник в ГОСТ Р 51317.4.30-2008. Для его реализации используется прямоугольное временное окно на 10 циклов по основной частоте 50 Гц. Погрешности в контроле интергармоник могут быть вызваны несовпадением длительности выбранного окна с длительностью сигнала контролируемых частот. Разложение графика случайных изменений тока или напряжения по этому методу позволяет оценить энергию интергармоник и вывести огибающую амплитудного спектра для этих частот. Однако эта методика не дает представления о величинах интергармоник, так как их определение зависит от выбранного шага дискретизации.

Еще один метод для моделирования и расчета интергармоник приведен в [9, С. 89], [10, С. 203]. Он представляет собой методику, основанную на спектрально-корреляционной теории для случайных процессов. Она позволяет оценить уровень интергармоник в кривых напряжения в выбранных узлах энергосистемы. Он эффективно работает при наличии нескольких источников интергармоник в электрической сети.

Необходимо иметь в виду, что при расчетах показателей несинусоидальности параметров сети сплошной спектр интергармоник случайного характера допускается не учитывать. Это связано с тем, что уровни напряжений интергармоник в сетях промышленных предприятий составляют менее 10% от уровня высших гармоник.

Заключение

В качестве вывода следует указать, что для основных источников интергармоник (ДСП, сварочные установки) на долю энергии дискретного спектра интергармоник приходится 10-25% всей энергии смешанного спектра. Это может оказаться существенным для управляющих и компьютерных сетей и вызвать ощутимые сбои в работе технологического оборудования, следовательно, решение и исследование вопросов данной тематики является актуальным.

Так же следует отметить, что в приведенном методе моделирования и расчета интергармоник относительная погрешность алгоритма оценки спектральных составляющих при изменении частоты основной гармоники – наименьшая, но она наиболее чувствительна к разного рода возмущениям сигнала.

Научная новизна рассмотренных методов расчета и моделирования высших гармоник и интергармоник

заключается в необходимости учета фактической несинусоидальной формы тока нагрузки при их анализе и расчете, а также установки активных фильтров и ФКУ. Алгоритм выбора ФКУ интергармоник настраиваемых на относительные частоты менее 3,5 Гц, подробно показан автором в работе [3 С. 116]. Основными источниками интергармоник выступает нагрузка, которая постоянно или в короткие периоды времени работают в переходных режимах, что следует учитывать при расчете ВГ.

Список литературы / References

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] // URL: <http://www.matic.ru/clients/standard-directory/gost-13109-97-quality-electric-network/> (дата обращения: 13.11.2017).
3. Бараненко, Т.К. Разработка методов расчета интергармоник напряжения и тока в электрических сетях с электротехнологическими установками и непосредственными преобразователями частоты: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 – Электрические станции, сети и системы / Бараненко Татьяна Константиновна ; рук. работы Ю.Л. Саенко. – Мариуполь: Приазовский гос. тех. ун-т, 2003. – 198 с.
4. Testa A. Интергармоники: теория и моделирование / IEEE Труды поставки электроэнергии за год: 2007, Номер: 22, Тема: 4 Страницы: 2335 - 2348, DOI: 10.1109/TPWRD.2007.905505
5. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. — М. : ЭНАС, 2009. — 456 с.
6. Morsi W. G., El-Hawary M. E. Время-частоты однофазного питания компонентов измерения гармоник и интергармоник искажения, основанные на Вейвлет-пакетных преобразованиях. Часть 1: Математическая формулировка // Электротехника и вычислительная техника, Канада, Номер: 35, 2010. — 7 с.
7. Чижма, С. Н. Метод спектрального анализа интергармоник в электроэнергетических системах / С.Н. Чижма // Промышленная энергетика. – 2014. – №4. – 47 с.
8. Аррилага Д. Гармоники в электрических системах / Д. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 215 с.
9. Окорочков Н.В. Дуговые сталеплавильные печи – М.: Metallurgy, 1971. – 344 с.
10. Кузнецов В.Г. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения / В.Г. Кузнецов, Э.Г. Куренный, А.П. Лютый. – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 250 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhezhelenko, I.V. Vysshieye garmoniki v sistemakh elektrosnabzheniya prompredpriyatiy [Higher Harmonics in Power Supply Systems for Industrial Enterprises] / I.V. Zhezhelenko. - Moscow: Energoatomizdat, 2000. - 331 p. [In Russian]
2. GOST 13109-97. Mezghosudarstvennyy standart. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Interstate Standard. Electric Energy. Electromagnetic Compatibility of Technical Means. Norms of Quality of Electric Energy in General-purpose Power Supply Systems] [Electronic resource] // URL: <http://www.matic.ru/clients/standard-directory/gost-13109-97-quality-electric-network/> (Reference date: 13.11 .2017). [In Russian]
3. Baranenko, T.K. Razrabotka metodov rascheta intergarmonik napryazheniya i toka v elektricheskikh setyakh s elektrotekhnologicheskimi ustanovkami i neposredstvennymi preobrazovatelyami chastoty [Development of Methods for Calculating Interharmonics of Voltage and Current in Electrical Networks with Electrotechnological Installations and Direct Frequency Converters:] PhD thesis in Engineering: 05.14.02 - Electric stations, networks and systems / Baranenko Tatyana Konstantinovna; hands. work Yu.L. Sayenko. - Mariupol: Priazovsky state. tech. university, 2003. - 198 p. [In Russian]
4. Testa A. Intergarmoniki: teoriya i modelirovaniye [Interharmonics: Theory and Modeling] / IEEE Proceedings of electricity supply for the year: 2007, Number: 22, Subject: 4 Pages: 2335 - 2348, DOI: 10.1109 / TPWRD.2007.905505 [In Russian]
5. Zhelezko, Yu. S. Poteri elektroenergii. Reaktivnaya moshchnost'. Kachestvo elektroenergii: Rukovodstvo dlya prakticheskikh raschetov [Electricity Losses. Reactive Power. Quality of Electricity: Guide for Practical Calculations] / Yu. S. Zhelezko. - M.: ENAS, 2009. - 456 p. [In Russian]
6. Morsi W. G., El-Hawary M. E. EI-Hawary M. E. Vremya-chastoty odnofaznogo pitaniya komponentov izmereniya garmonik i intergarmonik iskazheniya, osnovannyye na Veyvlet-paketnykh preobrazovaniyakh. Chast' 1: Matematicheskaya formulirovka [Time-Frequency of Single-phase Supply of Harmonic Components and Interharmonic Distortion, Based on Wavelet-packet Transformations. Part 1: Mathematical Formulation] // Electrical engineering and computer technology, Canada, Number: 35, 2010. - 7 p. [In Russian]
7. Chizhma S.N. Metod spektral'nogo analiza intergarmonik v elektroenergeticheskikh sistemakh [Method of Spectral Analysis of Interharmonics in Electric Power Systems] / S.N. Chizhma // Industrial energy. - 2014. - №4. - 47 p. [In Russian]
8. Arlilaga D. Garmoniki v elektricheskikh sistemakh [Harmonics in Electrical Systems] / D. Arrilaga, D. Bradley, P. Bodger. - Moscow: Energoatomizdat, 1990. - 215 p. [In Russian]
9. Okorokov N.V. Dugovyye staleplavil'nyye pechi [Arc Furnaces] - M.: Metallurgy, 1971. - 344 p. [In Russian]
10. Kuznetsov V.G. Elektromagnitnaya sovmestimost'. Nesimmetriya i nesinusoidal'nost' napryazheniya [Electromagnetic Compatibility. Unbalance and Non-sinusoidal Voltage] Kuznetsov, E.G. Kurennyy, A.P. Fierce. - Donetsk: Nord-press, 2005. - 250 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.105>Киво А.М.¹, Кантлоков Б.Н.², Акопян К.А.³¹Кандидат технических наук, ^{2,3}студент,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПО УСИЛИЮ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИЛОКОМПЕНСИРУЮЩИХ СИСТЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОСМОНАВТОВ**Аннотация**

В статье приведены основные типы обратных связей, применяемые в системе управления электромеханических силокомпенсирующих систем, которые способны обеспечить требуемые параметры движения космонавтов в горизонтальной плоскости тренажеров, предназначенных для моделирования пониженной гравитации. Предложено решение задачи синтеза корректирующего устройства по усилию электромеханических силокомпенсирующих систем тележки и моста, обеспечивающих горизонтальные перемещения космонавтов. Используя математические модели рассматриваемых систем, получены результаты синтеза корректирующих устройств по усилию в ременной передаче.

Ключевые слова: тренажер для космонавтов, синтез, система управления, корректирующее устройство, компенсация усилия, обратная связь, двухмассовая система, математическое моделирование.

Kivo A.M.¹, Kantlokov B.N.², Akopyan K.A.³¹PhD in Engineering, ²Student, ³Student,

Platov South-Russian State Polytechnic University

SYNTHESIS OF CORRECTING FORCING DEVICE FOR ELECTROMECHANIC FORCE-COMPENSATIVE SYSTEMS PROVIDING HORIZONTAL DISPLACEMENTS OF ASTRONAUTS**Abstract**

The paper presents the main types of feedbacks used in the control system of electromechanical force-compensating systems that are capable of providing the required parameters for the movement of astronauts in the horizontal plane of simulators intended for low gravity simulation. The solution of the problem of synthesizing a correcting device by the force of electromechanical force-compensating systems of a cart and a bridge providing horizontal displacement of astronauts is proposed. Using mathematical models of the systems under consideration, the results of the synthesis of correcting devices for the force in the belt transmission are obtained.

Keywords: simulator for cosmonauts, synthesis, control system, correcting device, force compensation, feedback, two-mass system, mathematical modeling.

Анализ существующих способов физического моделирования пониженной гравитации на Земле показал, что для подготовки космонавтов к работе в гравитационных условиях Луны и Марса наиболее перспективными являются тренажеры с многокоординатными электромеханическими силокомпенсирующими системами (ЭМСКС) [1].

В таких тренажерах горизонтальные перемещения объектов осуществляются при помощи ЭМСКС тележки и моста [2]. В качестве основных обратных связей, которые обеспечивают требуемые параметры движения объекта в горизонтальной плоскости, необходимо использовать отрицательную обратную связь (ООС) по току, гибкую ООС по усилию в ременной передаче и ООС по углу отклонения канатного подвеса (см. рис.1).

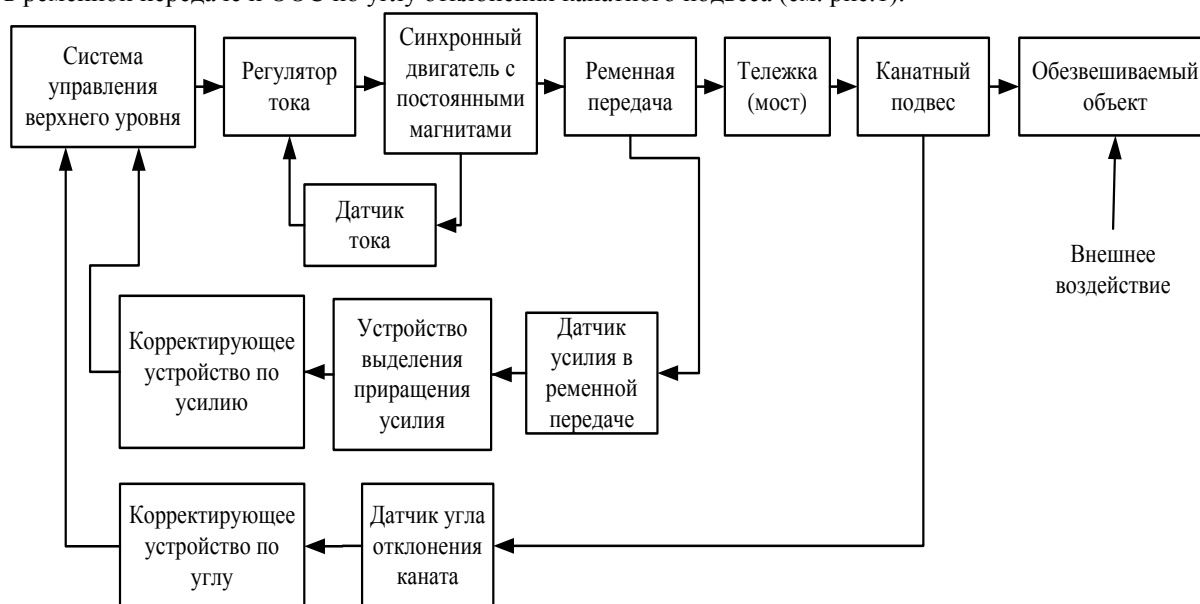


Рис. 1 – Функциональная схема системы управления ЭМСКС тележки (моста)

Применяемая ООС по усилию предназначена для уменьшения влияния упругих колебаний в ременной передаче на параметры движения объекта обезвешивания. Минимизировать влияние упругих колебаний усилия в ременной передаче возможно за счет увеличения коэффициента усиления канала регулирования усилия [3]. Но увеличение

коэффициента усиления снижает устойчивость системы, повышая колебательность. Поэтому необходимо выполнить синтез корректирующего устройства по усилию, который обеспечит минимальное значение времени переходного процесса $t_{пл}$ и перерегулирования $\sigma \leq 2\%$.

В настоящее время для систем, в которых основные параметры движения объекта задаются внешним возмущающим воздействием, синтез цифровых регулирующих устройств рекомендуется выполнять с использованием методов прямого синтеза, основанных на применении моделей объекта управления в переменных состояния [4] или параметрических передаточных функций [5]. Исследования, выполненные в работе [3] показали, что метод параметрических передаточных функций является наиболее эффективным для решения задач прямого синтеза цифровых регуляторов при случайных и детерминированных возмущениях.

Для решения задачи синтеза параметров КУ по усилию в ременной передаче, рассмотрим двухмассовую ЭМСКС, кинематическая схема которой представлена на рис.2. Электродвигатель с помощью ременной передачи при действии внешнего возмущающего воздействия осуществляет горизонтальное перемещение исполнительного механизма (ИМ). При этом перемещение ИМ $s_{ИМ}$ характеризуется его положением, отсчитываемым относительно ведущей шестерни.

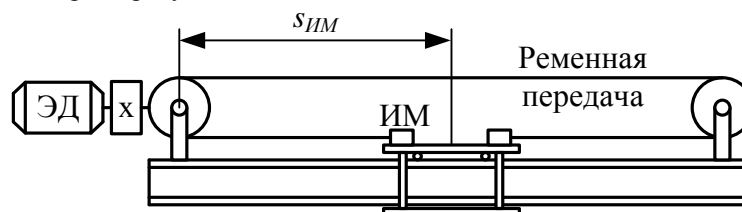


Рис. 2 – Кинематическая схема двухмассовой ЭМСКС с ременной передачей

Для решения задачи синтеза КУ по усилию, согласно рис.2, получим обобщенную структурную схему ЭМСКС, которая представлена на рис.3.

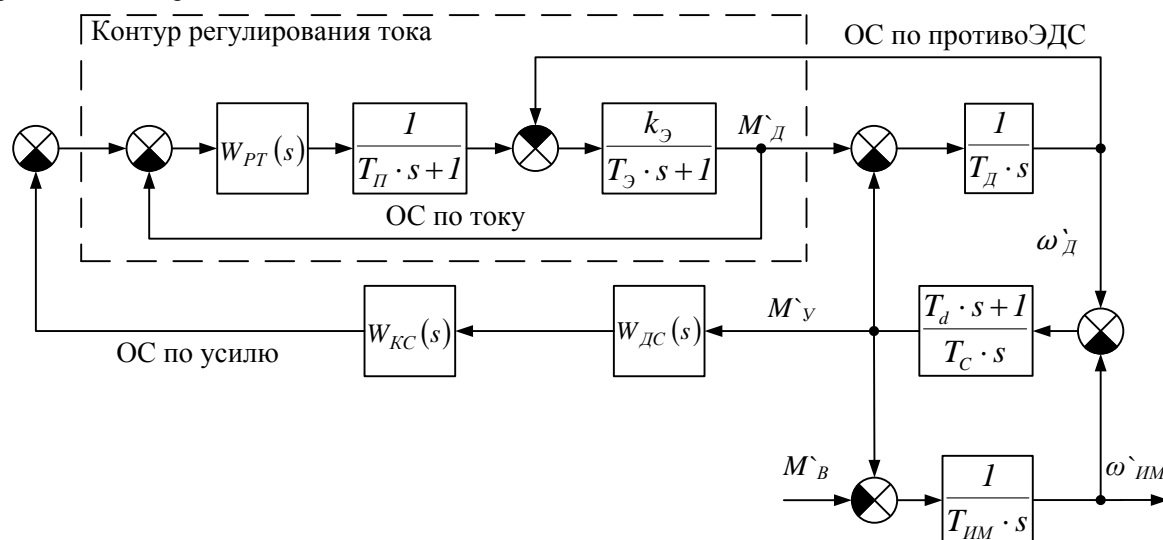


Рис. 3 – Обобщенная двухмассовая структурная схема ЭМСКС с ременной передачей

На рис.3 обозначены: $W_{PT}(s)$ – передаточная функция регулятора тока (РТ); $T_{П}$ – постоянная времени, учитывающая инерционность преобразователя; $k_{Э}$ – коэффициент передачи электродвигателя (ЭД); $T_{Э}$ – электромагнитная постоянная времени; $T_{Д}$ – механическая постоянная времени, учитывающая инерционность ЭД; $T_{С}$ – постоянная времени, учитывающая диссипативные свойства ремня; $T_{ИМ}$ – механическая постоянная времени, учитывающая инерционность ИМ; $W_{ДС}(s)$ – передаточная функция датчика усилия; $W_{КС}(s)$ – передаточная функция КУ по усилию; $M_{Д}$ – момент, развиваемый на валу ЭД, о.е.; $M_{В}$ – момент внешних сил, приведенный к ротору ЭД, о.е.; $M_{У}$ – момент упруго-диссипативных сил, приведенный к ротору ЭД, о.е.; $\omega_{Д}$ – скорость вращения ротора ЭД, о.е.; $\omega_{ИМ}$ – скорость перемещения ИС, приведенная к ротору ЭД, о.е.

Исследования, выполненные в работе [6] показали, что для описания динамических свойств датчика усилия допустимо использовать передаточную функцию вида:

$$W_{ДС}(s) = \frac{k_{ДС}}{T_{ДС} \cdot s + 1}, \quad (1)$$

где $k_{ДС}$ – коэффициент усиления датчика усилия; $T_{ДС}$ – постоянная времени датчика усилия.

Для синтеза КУ по усилию в ременной передаче необходимо знать структуру и параметры неизменяемой части системы, поэтому на начальном этапе следует выполнить синтез регулятора тока, обеспечивающего необходимое быстродействие [7]. Согласно рекомендациям в [8] целесообразно выполнить синтез РТ по принципу систем подчиненного регулирования с настройкой на модульный оптимум.

$$W_{PT}(s) = \frac{T_{Э} \cdot s + 1}{(2 \cdot T_{П} \cdot k_{Э}) \cdot s}. \quad (2)$$

На следующем этапе следует свернуть контур регулирования тока, а его свойства учитывать передаточной функцией вида

$$W_{3KT}(s) = \frac{k_{3KT}}{T_{3KT} \cdot s + 1}, \quad (3)$$

где k_{3KT} – коэффициент передачи замкнутого контура регулирования тока (ЗКТ); T_{3KT} – постоянная времени ЗКТ.

При использовании математического описания с использованием относительных единиц коэффициенты $k_{ДС} = k_{ЗКТ}$

Использование подходов, приведенных в [9], а также сопоставление частотных характеристик механической и электрической частей системы показали, что при достаточном быстродействии ЗКТ и датчика усилия, когда их частоты пропускания сигнала в несколько раз превышают собственную частоту колебаний исследуемого объекта, рекомендуется использовать КУ по усилию с передаточной функцией

$$W_{KC}(s) = k_{KC} \frac{k_K \cdot T_{KC} \cdot s}{k_K \cdot T_{KC} \cdot s + 1}, \quad (4)$$

где k_{KC} – коэффициент определяющий отношение дифференцирующей составляющей к аperiodической; T_{KC} – постоянная времени КУ; k_K – коэффициент учитывающий необходимое изменение постоянных времени при различных положениях ИМ.

Работа ременной передачи при функционировании ЭМСКС определяет постоянные времена T_C и T_d , характеризующие упругие и диссипативные свойства системы. Так как значения T_C и T_d изменяются в зависимости от положения ИМ, то может потребоваться применение адаптивного управления. Исследования, выполненные в работе [10] показали, что параметры КУ рекомендуется определять при максимальном значении T_C , т.е. при минимальном значении эквивалентной жесткости ременной передачи, не применяя адаптивное управление. Следовательно, и при минимальных значениях T_C можно получить приемлемые результаты.

Определение параметров КУ по усилию, которое позволяет устранить колебания усилия в ременной передаче, рекомендовано осуществлять с использованием инструментов «Simulink Control Design» (MATLAB), что позволило выполнить автоматическую настройку регуляторов в Simulink путем использования блоков типа «PID controller». Исследования показали, что, если не применять адаптивное управление, то параметры КУ должны быть определены при максимальном значении T_C , соответствующей минимальному значению эквивалентной жесткости ременной передачи. При такой настройке КУ обеспечивает приемлемые результаты управления усилиями в упругой ременной передаче и при минимальных значениях T_C .

Для оценки показателей качества функционирования ЭМСКС тележки и моста перспективного тренажера, используя рекомендации, полученные в результате синтеза КУ по усилию, проведем математическое моделирование в соответствии со структурными схемами, представленными на рис.4 и рис.5.

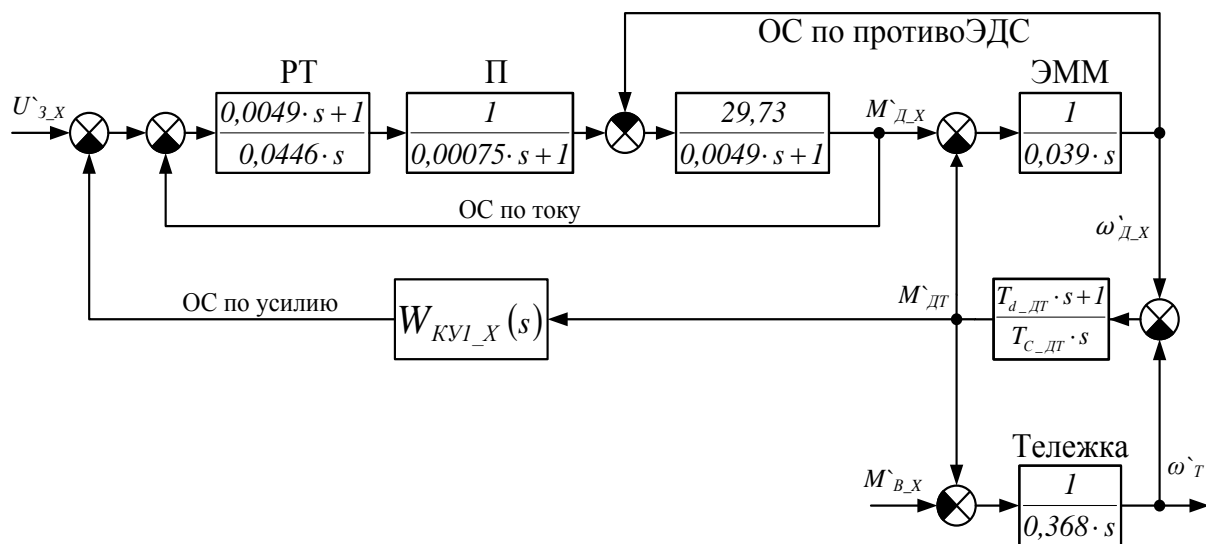


Рис. 4 – Обобщенная двухмассовая структурная схема ЭМСКС тележки

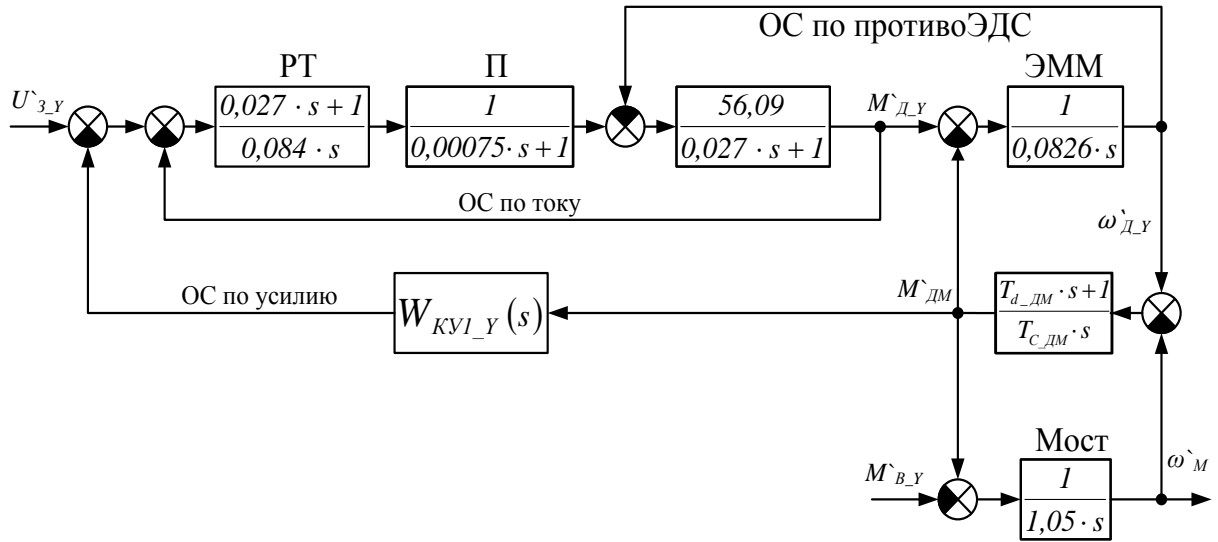


Рис. 5 – Обобщенная двухмассовая структурная схема ЭМСКС моста

С использованием инструментов «Simulink Control Design» (MATLAB) получены передаточные функции КУ по усилию в ременной передаче:

– для ЭМСКС тележки
$$W_{KVI_X}(s) = 10 \cdot \frac{0,005 \cdot s}{0,005 \cdot s + 1};$$

– для ЭМСКС моста
$$W_{KVI_Y}(s) = 20 \cdot \frac{0,005 \cdot s}{0,005 \cdot s + 1}.$$

На рис. 6 и рис. 7 приведены графики переходных процессов по усилию в ременной передаче ЭМСКС тележки и моста без применения ООС по усилию и с применением ООС по усилию. При этом значение импульсного возмущающего воздействия, приложенного к объекту, для тележки составляет $M_{B_X} = 1,226$ о.е., а для моста – $M_{B_Y} = 0,273$ о.е., что в обоих случаях эквивалентно 200 Н. Начальное положение исполнительного механизма в обоих случаях принято равным при $s_{IM} = 4$ м.

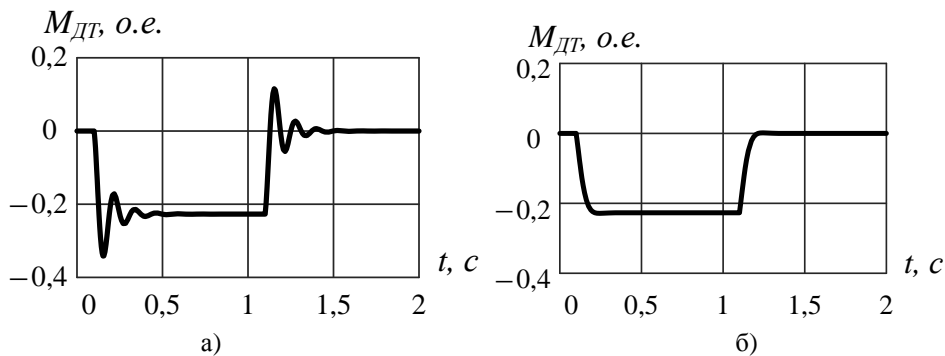


Рис. 6 – Графики переходных процессов по усилию в ременной передаче ЭМСКС тележки: а) без ООС по усилию; б) с ООС по усилию

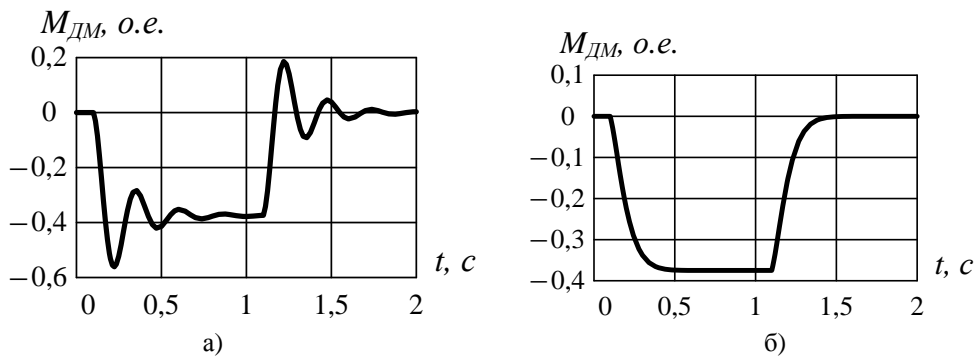


Рис. 7 – Графики переходных процессов по усилию в ременной передаче ЭМСКС моста: а) без ООС по усилию; б) с ООС по усилию

В результате решения задачи синтеза КУ по усилию ЭМСКС тележки и моста с ременной передачей получены следующие результаты:

– в ЭМСКС тележки без ООС по усилию время переходного процесса $t_{III} = 0,51$ с при перерегулировании $\sigma = 56\%$, а после применения гибкой ООС по усилию с рекомендуемыми параметрами – $t_{III} \leq 0,082$ с, $\sigma \leq 2\%$;

– в ЭМСКС моста без ООС по усилию время переходного процесса $t_{\text{ппр}} = 0,72$ с при перерегулировании $\sigma = 50\%$, а после применения гибкой ООС по усилию с рекомендуемыми параметрами – $t_{\text{ппр}} \leq 0,267$ с, $\sigma = 0\%$.

Выполненные в работе исследования показали, что, использование синтезированного КУ по усилию ЭМСКС позволяет уменьшить влияние упругих колебаний в ременной передаче на параметры движения объекта, позволяя повысить надёжность и долговечность работы механизмов перемещения тележки и моста.

Список литературы / References

1. Игнатьев С.В., Хрипунов В.П. Задачи и принципы создания комплекса тренажеров для подготовки космонавтов по лунной и марсианской программам. Пилотируемые полеты в космос. 2011. № 2 (2). С. 94-98.
2. Пятибратов Г.Я. Особенности создания силокомпенсирующих систем при реализации сложных пространственных перемещений объектов / Г.Я. Пятибратов, А.М. Киво, О.А. Кравченко, Н.А. Сухенко // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – № 5. – С. 39-43.
3. Барыльник Д.В. Электромеханическая система компенсации силы тяжести с асинхронным частотно-регулируемым электроприводом дис. ... канд. техн. наук. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ), Новочеркасск, 2009.
4. Демидюк М.В. Задачи динамики и управления движением манипуляционных роботов с упругими звеньями: Автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.02.01. – М., 1993. – 18 с.
5. Шапшал А.С. Оптимизация и идентификация упругих элементов рессорного подвешивания локомотивов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1994. – 19 с.
6. Гукасян А.А. Управление и оптимизация движений манипуляционных роботов с абсолютно твердыми и упругими звеньями: Автореферат дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.02.01. – М., 1996. – 35 с.
7. Кравченко О.А. Управление электроприводами при учете реальных свойств механических передач: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. – 73 с.
8. Пятибратов Г.Я. Возможности применения электроприводов для активного ограничения колебаний упругих механических передач // Изв. вузов. Электромеханика. – 1990. – № 10. – С. 89-93.
9. Пятибратов Г.Я. Синтез систем подчиненного регулирования электроприводов, минимизирующих динамические нагрузки в упругих механических передачах // Изв. вузов. Электромеханика. – 1982. – № 3. – С. 296-303.
10. Пятибратов Г.Я. Принципы построения и реализации систем управления усилиями в упругих передачах электромеханических комплексов // Изв. вузов. Электромеханика. – 1998. – № 5-6. – С. 73-83.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ignatiev S.V., Khripunov V.P. Zadachi i printsipy sozdaniya kompleksa trenazherov dlya podgotovki kosmonavtov po lunnoy i marsianskoy programmam. Pilotiruyemye polety v kosmos. [Problems and Principles for Development of Set of Simulators for Training Astronauts in Lunar and Martian Programs. Manned Flights into Space] 2011. No. 2 (2). P. 94-98. [In Russian]
2. Pyatibratov G.Ya. Osobennosti sozdaniya silokompensiruyushchikh sistem pri realizatsii slozhnykh prostranstvennykh peremeshcheniy ob"yektov [Features of Development of Power Compensating Systems in Implementation of Complex Spatial Displacements of Objects] / G.Ya. Pyatibratov, A.M. Kivo, O.A. Kravchenko, N.A. Sukhenko // News of universities. Electromechanics. - 2013. - No. 5. - P. 39-43. [In Russian]
3. Barynnik D.V. Elektromekhanicheskaya sistema kompensatsii sily tyazhesti s asinkhronnym chastotno-reguliruyemym elektroprivodom [Electromechanical System of Gravity Compensation with Asynchronous Frequency-controlled Electric Drive] PhD thesis in Engineering. South-Russian. state. tech. un (NPI), Novocherkassk, 2009. [In Russian]
4. Demydyuk M.V. Zadachi dinamiki i upravleniya dvizheniyem manipulyatsionnykh robotov s uprugimi zven'yami [Problems of Dynamics and Control of Movement of Manipulative Robots with Elastic Links]: Abstract of PhD thesis in Physics and Mathematics: 01.02.01. - M., 1993. - 18 p. [In Russian]
5. Shapshal A.S. Optimizatsiya i identifikatsiya uprugikh elementov resornogo podveshivaniya lokomotivov [Optimization and Identification of Elastic Elements of Spring Suspension of Locomotives:] Abstract of PhD thesis in Engineering. - Rostov n/D, 1994. - 19 p. [In Russian]
6. Gukasyan A.A. Upravleniye i optimizatsiya dvizheniy manipulyatsionnykh robotov s absolyutno tverdymi i uprugimi zven'yami [Management and Optimization of Movements of Manipulative Robots with Absolutely Rigid and Elastic Links]: Abstract of PhD thesis in Physics and Mathematics: 01.02.01. - M., 1996. - 35 p. [In Russian]
7. Kravchenko O.A. Upravleniye elektroprivodami pri uchete real'nykh svoystv mekhanicheskikh peredach: Uchebnoye posobiye [Control of Electric Drives Considering Real Properties of Mechanical Transmission: Textbook] / South-Russian. state. tech. - Novocherkassk (NPI), 2003. - 73 p. [In Russian]
8. Pyatibratov G.Ya. Vozmozhnosti primeneniya elektroprivodov dlya aktivnogo ogranicheniya kolebaniy uprugikh mekhanicheskikh peredach [Possibilities of Usage of Electric Drives for Active Limitation of Elastic Mechanical Oscillations] // News of universities. Electromechanics. - 1990. - No. 10. - P. 89-93. [In Russian]
9. Pyatibratov G.Ya. Sintez sistem podchinennogo regulirovaniya elektroprivodov, minimiziruyushchikh dinamicheskiye nagruzki v uprugikh mekhanicheskikh peredachakh [Synthesis of Systems of Subordinate Regulation of Electric Drives, which Minimize Dynamic Loads in Elastic Mechanical Transmissions] // News of universities. Electromechanics. - 1982. - No. 3. - P. 296-303. [In Russian]
10. Pyatibratov G.Ya. Printsipy postroyeniya i realizatsii sistem upravleniya usiliyami v uprugikh peredachakh elektromekhanicheskikh kompleksov [Principles of Construction and Implementation of Control Systems by Forces in Elastic Transmissions of Electromechanical Complexes] // Izv. universities. Electromechanics. - 1998. - No. 5-6. - P. 73-83. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.093>Килиди Х.И.¹, Куртнезирова А.Н.², Хаджиди А.Е.³¹ORCID: 0000-0002-4561-7878, старший преподаватель, ²ORCID: 0000-0002-2449-3415, доцент,³ORCID: 0000-0002-1375-9548, кандидат технических наук, профессор,

Кубанский Государственный Аграрный Университет имени И.Т. Трубилина

СВОЙСТВА ГРАВЕЛИСТЫХ ГРУНТОВ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ**Аннотация**

Приведен анализ основных свойств гравелистых грунтов, так как данный показатель при выполнении строительных работ является обязательным условием для использования материалов. Определены и проанализированы качественные характеристики намывного грунта, состав и форма зерен, минералогическое происхождение, строение грунта в ненарушенном состоянии. Приведена сравнительная зависимость коэффициента фильтрации гравелисто-галечникового грунта от возможной добавки супесчаного грунта. Представленный анализ позволяет более эффективно подходить к процессу гидромеханизированного возведения ограждающих конструкций.

Ключевые слова: пористость, свойства, грунт, гидронамыв, коэффициент фильтрации.

Kilidi Kh.I.¹, Kurtnezirov A.N.², Hajidi A.E.³¹ORCID: 0000-0002-4561-7878, Senior Lecturer, ²ORCID: 0000-0002-2449-3415, Associate professor,³ORCID: 0000-0002-1375-9548, PhD in Engineering, Professor,

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin

PROPERTIES OF GRAVELLY SOILS AND REQUIREMENTS FOR THEM**Abstract**

The analysis of the basic properties of gravelly soils is given, since this indicator is a mandatory condition for the use of materials when carrying out construction works. The qualitative characteristics of the fill ground, the composition and shape of the grains, the mineralogical origin, and the structure of the soil in the undisturbed state are determined and analyzed. The comparative dependence of the gravel-pebble soil filter coefficient on the possible addition of sandy loam soil is given. The presented analysis enables a more effective approach to the process of hydro-mechanized erection of enclosing structures.

Keywords: porosity, properties, soil, hydraulic fill, filtration coefficient.

Эффективность использования гидромеханизации во многом зависит от физико-механических свойств разрабатываемых грунтов. Используемые для намыва грунты делятся на связные — глины, суглинки и илы и несвязные — гравелистые и песчаные.

Объемный вес грунта служит основным показателем плотности грунта, намывного в теле сооружения.

Гранулометрический состав карьерного материала служит показателем качества грунта при возведении сооружений и определяет трудность разработки, транспортирования и укладки грунта. Влажность грунта существенно влияет на разработку его средствами гидромеханизации. При большей влажности грунт легче размывается и транспортируется. Для связных грунтов степень влажности характеризует величину силы сцепления. Пористость зависит от механического состава грунта, формы частиц и плотности сложения. Чем пористость грунта больше, тем он рыхлее и легче поддается размыву. Угол внутреннего трения служит показателем, определяющим сопротивление грунта. Для сыпучих грунтов в рыхлом состоянии угол внутреннего трения приближается к углу естественного откоса. В связных грунтах устойчивость откосов зависит от сопротивления сдвигу, развивающемуся внутри грунта благодаря трению и сцеплению между частицами. Угол внутреннего трения и сцепления определяют лабораторным испытанием образцов грунта на сдвиг [1, С. 22-24].

Плотины с центральным противофильтрационным ядром наиболее целесообразно возводить из песчано-гравелистых грунтов с максимальным коэффициентом неоднородности.

К гравелистым грунтам относят обломочную горную породу, состоящую из несцементированных, окатанных зерен размером от 2 до 20 мм с содержанием их более 50% общего веса грунта; при размере зерен от 20 до 200 мм порода называется галечниковой.

Гравелистые грунты для намыва плотин не должны содержать слишком крупные фракции, превышающие максимальный предел для данного типа землессоса, и глинистые фракции $d < 0,005$ мм больше 15%; противофильтрационное ядро высокого качества образуется только при наличии в гравелистых грунтах необходимого количества песчаных и мелкопесчаных фракций [2, С. 164-170].

Более целесообразно для повышения плотности укладки грунта и уменьшения изнашиваемости оборудования гидромеханизации использовать гравелистые грунты с окатанной формой зерен.

В некоторых случаях допускается небольшое содержание водорастворимых солей и органических примесей, однако допустимое их количество и других включений в грунтах должно быть строго обосновано.

Гравелистые грунты являются хорошим материалом для образования устойчивого скелета сооружений, но обладают большой водопроницаемостью.

При проектировании плотин из гравелистых грунтов должны быть заранее правильно определены их фильтрационные свойства и приняты способы укладки, обеспечивающие требуемые противофильтрационные качества сооружений. Качественные характеристики определяются на всех картах намывного участка плотины на тех же поперечниках, где одновременно замеряли уклоны поверхности намыва, удельные расходы, консистенцию пульпы и коэффициент фильтрации грунта. Плотность укладки и состав намывного грунта изменяются в зависимости от технологических факторов намыва, поэтому замеры проводили на различных пляжах. Исследования при возведении плотины комбинированным способом проводили в процессе намыва наружных призм сооружения. Призмы намывали вдоль отсыпаемого супесчаного ядра, поэтому длина пляжа намыва доходила до 100 м [3; 4 С. 84-86].

При возведении этих плотин изучали технологические факторы намыва гравелисто-песчаного грунта различными земснарядами, определяли влияние удельных расходов пульпы на формирование уклонов поверхности намыва и изменение состава намывного грунта по длине пляжа. Намывной способ обеспечивает хорошее качество укладки гравелистых грунтов по их плотности, пористости, влажности, углу естественного откоса, но не всегда достигаются при этом хорошие показатели по коэффициенту фильтрации.

На коэффициент фильтрации, кроме гранулометрического состава грунта, влияют форма зерен, минералогическое происхождение, строение грунта в ненарушенном состоянии, его пористость, температура воды, а также технология намыва. Однако все эти факторы, как показали опытные данные, незначительны, поэтому при определении коэффициента фильтрации намывных гравелистых грунтов ими можно пренебречь.

Мы будем рассматривать изменение коэффициента фильтрации от определяющих его факторов при поверхностном торцовом намыве. Установлено, что анизотропность намываемого грунта уменьшается с увеличением удельных расходов и консистенции подаваемой пульпы.

Анизотропность грунта влияет на коэффициент фильтрации только в намывных песчаных грунтах с примесью глинистых частиц. Поэтому следует различать фильтрационную способность таких грунтов в двух направлениях: в продольном и нормальном относительно напластования слоев.

В практике проектирования плотин за расчетную величину коэффициента фильтрации принимается максимальная, определенная в горизонтальном направлении намыва.

В намывных гравелисто-песчаных грунтах явление анизотропности не наблюдается или выражено очень слабо лишь в ядерной зоне. Это объясняется наличием большого количества гравийного материала, нарушающего слоистость, и малым содержанием мелкопесчаных и глинистых фракций, обуславливающих образование слоистости [5].

Учитывая, что пористость намывных гравелистых грунтов, по данным полевых исследований, колебалась в небольших пределах (в среднем от 30 до 38%), их изменениями при фильтрационных расчетах можно пренебречь.

Форма зерен также в некоторой степени определяет коэффициент фильтрации грунта. Однако это сказывается лишь в мелкопесчаных и глинистых грунтах, фильтрационная же способность гравелистых грунтов не зависит от формы частиц. Кроме того, существующие методы определения формы зерен сложны и не позволяют учитывать с достаточной точностью влияние их на коэффициент фильтрации.

Основными факторами, обуславливающими величину коэффициента фильтрации, как показали опытные данные, следует считать состав намывных гравелистых грунтов, характеризуемый средней крупностью и содержанием мелких составляющих (частиц меньше 0,25 мм).

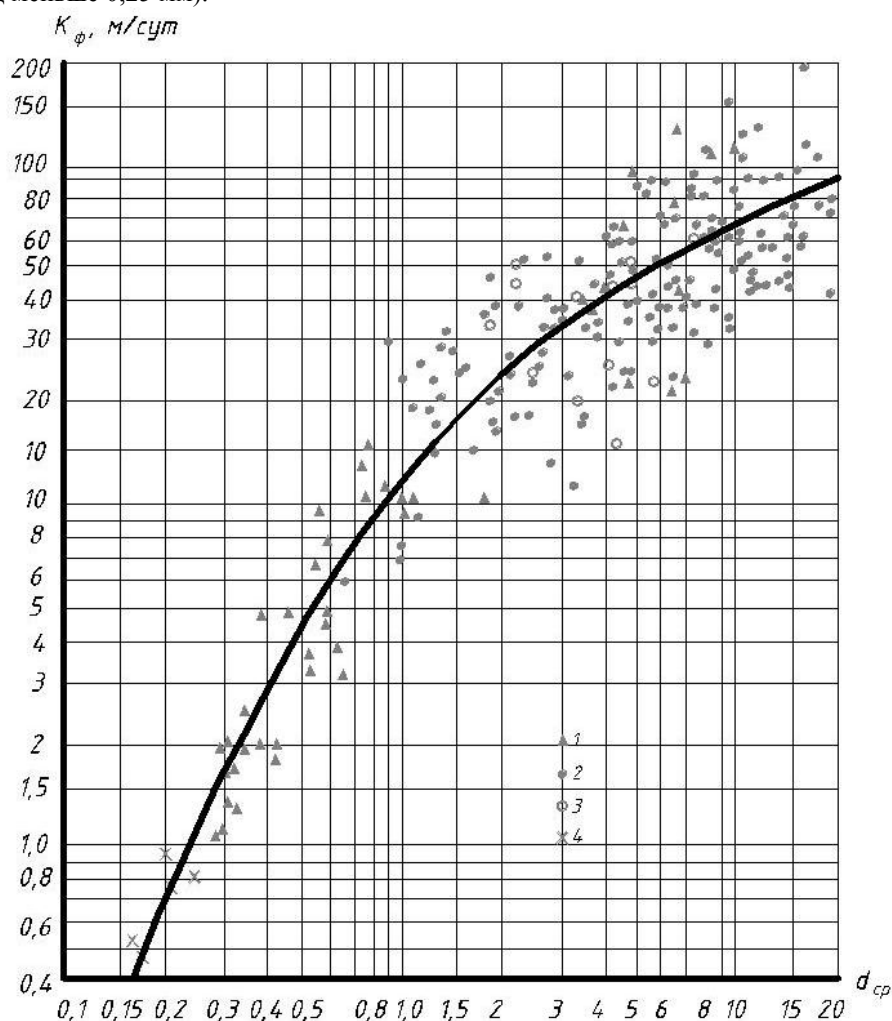


Рис. 1 – График зависимости коэффициента фильтрации от средней крупности ($d_{ср}$) намывного грунта
1,2,3,4 – образцы грунта взятые по длине берега

На рисунке 1 приведен график зависимости $K_f = f(d_{cp})$, из которого видно, что с возрастанием крупности грунта коэффициент фильтрации для одного и того же d_{cp} колеблется в больших пределах: для крупных гравелистых грунтов отклонения как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения от его среднего значения составили 150—200%.

Это явление показало, что коэффициент фильтрации зависит не только от величины средней крупности грунта, но и от количества содержания мелких составляющих в нем фракций.

Анализ данных, полученных при намыве различных плотин из гравелистых грунтов и опытных намывов в лабораторных условиях, показал, что столь значительные колебания коэффициента фильтрации гравелистого грунта при одной и той же его средней крупности d_{cp} объясняются различной величиной содержания мелких частиц грунта < 0,25 мм в составе смеси.

Эти фракции, заполняя поры между частицами намываемых гравелистых грунтов, существенно влияют на величину коэффициента - фильтрации.

Средняя крупность отсортированной гравелисто-галечниковой смеси составляла 35 мм. Коэффициент фильтрации грунта как при укладке его способом сухой отсыпки, так и намывом определяли методом Болдырева.

После опыта с намывом карьерного гравелисто-галечникового грунта были проведены опыты по намыву смеси с добавками 10; 20 и 30% супеси (коэффициент фильтрации 0,1 — 1 м/сут) (рис. 3).

Так, при добавке к гравелисто-галечниковому грунту (коэффициент фильтрации около 150 м/сут) 10% супеси коэффициент фильтрации намытой смеси снижается до 28 м/сут; соответственно при внесении 20 и 30% супеси коэффициент фильтрации грунта равен 6 и 2,5 м/сут.

Основным материалом для возведения земляных плотин намывом в большинстве случаев служат аллювиальные песчаные и гравелистые грунты русловых карьеров.

Все грунты, пригодные для намыва, по трудности разработки в зависимости от гранулометрического состава их и производительности землесосных снарядов по пыле пылю делятся, согласно СНиП (ч. IV, т. 2, выпуск I, 1965 г.), на шесть групп. Гравелистые грунты, разрабатываемые и транспортируемые средствами гидромеханизации, подвергают сильному абразивному износу землесосное оборудование. Интенсивность изнашиваемости зависит в основном от четырех факторов: крупности частиц грунта, их окатанности, твердости частиц и износостойкости материала деталей оборудования.

Список литературы / References

1. Менисков В. П. Намыв плотин из гравелистых грунтов / В. П. Менисков // Москва, изд-во «Колос» – 1967 – С. 22-24
2. Кузнецов Е.В. Методика расчета параметров расчистки русел южных степных рек / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди, Х.И. Килиди, А.Н. Куртнезирова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 48. С. 164-170.
3. Кузнецов Е.В. Способ охраны земель прибрежных ландшафтов рек / Е.В. Кузнецов, Х.И. Килиди, А.Е. Хаджиди // патент на изобретение RUS 2492292 16.01.2012.
4. Килиди Х.И. Повышение устойчивости береговой линии агроландшафтов в условиях степной зоны юга России / Х.И. Килиди, Е.В.Дегтярева // ЭКОЛОГИЯ РЕЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ сборник статей по материалам I международной научной экологической конференции. 2017. С. 84-86.
5. Кузнецов Е.В. Способ охраны береговых ландшафтов рек от подтоплений / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди, Х.И. Килиди, А.Н. Куртнезирова // патент на изобретение RUS 2552949 03.04.2014
6. Килиди Х.И. Обоснование способа расчистки рек для защиты береговых ландшафтов от подтоплений / Х.И. Килиди // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 5 частях. ООО "АР-Консалт". 2014. С. 53-55.
7. Кузнецов Е.В. Проблемы рекультивации и охраны земель прибрежных ландшафтов степных рек Кубани/ Е.В. Кузнецов, А.А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 34. С. 207-210.
8. Кузнецов Е.В. Комплекс мероприятий по расчистке русел рек бассейна реки Кирпили для охраны земель от подтопления / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди, П.П. Коломоец // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 19. С. 34-38.
9. Кузнецов Е.В. Исследование переноса наносов и распределение мутности в потоке для охраны предгорных агроландшафтов/ Кузнецов Е.В., Хаширова Т.Ю. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 15. С. 159-163.
10. Хаширова Т.Ю. Использование информационных технологий в вопросах охраны и мелиорации природных ландшафтов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. С. 113.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Meniskov, V. P. Namyv plotin iz gravelistykh gruntov [Silting of dams of Gravelly Soils] / V.P. Meniskov // Moscow, publishing house "Kolos" - 1967 - P. 22-24 [in Russian]
2. Kuznetsov E.V. Metodika rascheta parametrov raschistki rusel yuzhnykh stepnykh rek [Methodology for Calculation of Parameters for Clearing Channels of Southern Steppe Rivers] / E.V. Kuznetsov, A.E. Hajidi, H.I. Kilidi, A.N. Kurtnesirov // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2014. No. 48. P. 164-170. [in Russian]
3. Kuznetsov E.V. Sposob okhrany zemel' pribrezhnykh landshaftov rek [Method of Land Protection of Coastal Landscapes of Rivers] / E.V. Kuznetsov, H.I. Kilidi, A.E. Hadjidi // Patent for invention RUS 2492292 16.01.2012. [in Russian]
4. Kilidi H.I. Povysheniye ustoychivosti beregovoy linii agrolandschaftov v usloviyakh stepnoy zony yuga Rossii [Increase of Coastline Stability of Agricultural Landscapes under Conditions of Steppe Zone of South of Russia] / H.I. Kilidi, E.V. Degtyareva // ECOLOGY OF RIVER LANDSCAPES. Collection of articles on the materials of the first International Scientific Ecological Conference. 2017. P. 84-86. [in Russian]

5. Kuznetsov E.V. Sposob okhrany beregovykh landshaftov rek ot podtopleniy [Way to Protect Coastal River Landscapes from Underflooding] / E.V. Kuznetsov, A.E. Hajidi, H.I. Kilidi, A.N. Kurtnesirov // Patent for invention RUS 2552949 04/03/2014 [in Russian]

6. Kilidi H.I. Obosnovaniye sposoba raschistki rek dlya zashchity beregovykh landshaftov ot podtopleniy [Substantiation of Method of River Clearing for Protection of Coastal Landscapes from Underflooding] / H.I. Kilidi // Science, education, society: trends and perspectives. Collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference: in 5 parts. "AR-Consult" LLC. 2014. pp. 53-55. [in Russian]

7. Kuznetsov E.V. Problemy rekul'tivatsii i okhrany zemel' pribrezhnykh landshaftov stepnykh rek Kubani [Problems of Reclamation and Protection of Lands of Coastal Landscapes of Steppe Rivers of Kuban] / E.V. Kuznetsov, A.A. Prihodko // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2012. – No. 34. P. 207-210. [in Russian]

8. Kuznetsov E.V. Kompleks meropriyatiy po raschistke rusel rek basseyna reki Kirpili dlya okhrany zemel' ot podtopleniya [Set of Measures to Clear Riverbeds of Basin of Kirpil River for Protection of Lands from Underflooding] / E.V. Kuznetsov, A.E. Hajidi, P.P. Kolomoets // Polymatic network electronic journal of the Kuban State Agrarian University. 2006. No. 19. P. 34-38. [in Russian]

9. Kuznetsov E.V. Issledovaniye perenosa nanosov i raspredeleniye mutnosti v potoke dlya okhrany predgornyykh agrolandshtafrov [Investigation of Sediment Transport and Turbidity Distribution in Stream for Protection of Foothill Agricultural Landscapes] / Kuznetsov E.V., Khashirova T.Yu. // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2008. No. 15. P. 159-163. [in Russian]

10. Khashirova T.Yu. Ispolzovaniye informatsionnykh tekhnologiy v voprosakh okhrany i melioratsii prirodnykh landshaftov [Use of Information Technologies in Protection and Reclamation of Natural Landscapes] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2008. P. 113. [in Russian]



*«Международный научно-исследовательский журнал» включен в базу данных **WorldCat**.*

***WorldCat** — крупнейшая в мире библиографическая база данных, насчитывающая свыше 240 млн записей о всех видах произведений на 470 языках мира. База создается совместными усилиями более чем 72 тыс. библиотек из 170 стран мира в рамках организации OCLC.*

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.100>

Левкин Ю.С.

Соискатель,

Тольяттинский государственный университет ТГУ

ТОЧЕЧНО-ЭПИЮРНЫЕ ДВУХОКТАНТОВЫЕ НОМОГРАММЫ**Аннотация**

В статье предлагается новое направление использования эпюрных номограмм в качестве технологий обработки экспериментальных данных. На базе начертательной геометрии при использовании её терминологии, строятся в октантовых ячейках аксонометрии. Эти аксонометрические проекции характеризуют не цифровую абстракцию, а параметровую проекционную связь экспериментальных физических величин. В работе с эпюрными номограммами требуются новые понятия и характеристики параметров, определяющих аргументальные и функциональные значения геометрических образов. Статья не рассматривает вопрос усовершенствования известного материала, она рассматривает необходимость применения графической технологии, решающей научно - экспериментальные задачи, поскольку игнорирование их не даст полноты понимания физических процессов. Точечно – эпюрные номограммы с помощью многомерности своих параметров способны оценить геометрические образы (прямые линии, кривые линии, плоскости, поверхности), получив такие изображения, которые позволят, технически грамотному специалисту увидеть то, что видит студент, глядя на аксонометрию детали. Приведённые номограммы наглядно представляют графику, которую можно использовать при обосновании экспериментальных выводов. Все построения основаны на закономерностях, применяемых в начертательной геометрии. Начертательная геометрия служит ключевой общетехнической дисциплиной, которая с математической точностью осуществляет графические и основанные на её методике номографические построения. В статье предлагаются авторские теоремы и иллюстрации номограмм.

Ключевые слова: начертательная геометрия, функциональные и аргументирующие оси, линии связи, аксонометрические проекции, двух октантовая номограмма.

Levkin Yu.S.

Postgraduate student. Togliatti State University

POINT-EPURE TWO-OCTANE NOMOGRAPHS**Abstract**

The paper proposes a new direction for the use of epure nomograms as technologies for processing experimental data. The axonometry is constructed in octant cells based on the descriptive geometry, when using its terminology. These axonometric projections characterize not the digital abstraction, but the parametric projection relationship of the experimental physical quantities. New concepts and characteristics of parameters determining the argument and functional values of geometric patterns are required in the work with epure nomograms. The paper does not consider the improvement of a well-known material; it considers the need for the use of graphic technology to solve scientific and experimental problems, since their ignoring will not provide a full understanding of physical processes. The point-epure nomograms with the help of the multidimensionality of their parameters are able to evaluate geometric images (straight lines, curved lines, planes, surfaces), having obtained such images that will enable a technically competent specialist to see what the student sees looking at the axonometry of the detail. The given nomograms graphically represent the schedule, which can be used to justify the experimental conclusions. All constructions are based on the regularities used in descriptive geometry. Descriptive geometry serves as a key general technical discipline that implements graphically and graphically based on its methodology nomographic constructs. The author proposes author's theorems and illustrations of nomograms.

Keywords: descriptive geometry, functional and argumentating axes, communication lines, axonometric projections, two octant nomograms.

Номография происходит от слова names – закон и является разделом математики, объединяющий теорию и практические методы построения номограмм – специальных чертежей, являющихся изображениями функциональных и аргументальных зависимостей [16, С.4].

Геометрия — это составная часть математики, а начертательная геометрия одна из её видов. Отличительной чертой генезиса геометрических построений от номографических, является превращение геометрических осей в физические параметральные величины. В зависимости от числа абстрактных осей (X , Y , Z) с их иррациональными продолжениями ($-X$, $-Y$, $-Z$), строятся параметрические модели, где эти оси трансформируются в конкретные физические величины ($X - Q_x$), ($Y - Q_y$), ($Z - \omega_z$) и т.д. Других ограничений при построении номограмм нет, что даёт возможность использовать все закономерности начертательной геометрии при построении номограмм [5, С.37 – 47.], [6, С. 80], [12, С. 420], [14, С. 224]

Оси точно-эпюрных номограмм. Многомерные номограммы строятся в октантовых ячейках. Количество выбранных осей эпюрной номограммы зависит от количества размещённых на них экспериментальных параметров. В связи с этим эпюрные номограммы могут быть октантовыми, двухоктантовыми, трёхоктантовыми и т.д., в зависимости от количества параметров, участвующих в эксперименте. Каждая ячейка номограммы должна строиться с учётом смежной зависимости параметров, а функциональная ось занять положительное или отрицательное направление аппликаты. На рис.1. функциональная ось Δv м/с, а иррациональное ей продолжение $n_d(g)$ будет занимать промежуточную функциональность т.к. она, находясь в нижнем ярусе и собирает проекционную информацию параметров этого яруса. Аргументирующие параметры, нижнего яруса (ΔQ_x , $\Delta \omega_z$, n_b) при помощи линий связи замыкают проекционную связь на функциональном параметре, показывая зависимость аргументальных

значений от функциональных. Используем аналитический пример. Формулой $\Delta v_r = \frac{\Delta \Theta_r}{\Delta \omega_r}$ можно описать

зависимость функции (Δv_r) рис.1. от переменных (ΔQ_r , и $\Delta \omega_r$) аргументальных параметров. Экспериментальный точечный замер параметров, связанных между собой линиями связи на рис. 1, показывает, что аргументальные параметры формулы будут равны функциональным значениям. Такая зависимость наблюдается и на графической иллюстрации.

1. Аргументальные оси эпюрной номограммы, это такие оси, которые являются носителями физических переменных, тех или иных параметров.

2. Функциональная ось эпюрной номограммы - это ось аппликата, которая является носителем результирующего параметра.

Иррациональное аппликатное направление оси $n_b(g)$, нельзя считать функциональным, т.к. параметр этой оси имеет аргументальную характеристику. Однако такую ось нельзя считать чисто аргументальной т.к., объединяя две оси четвёртой октанты, она способствует построению аксонометрии. Собирательную аргументальность оси $n_b(g)$ можно, считать, промежуточной функциональностью т.к.:

1. Аргументальные оси четвёртой октанты (ΔQ_r , и $\Delta \omega_r$) позиционируют ось $n_b(g)$ как функциональную.

1. Все проекции точек нижнего яруса имеют проекционную связь с осью $n_b(g)$.

2. Благодаря оси $n_b(g)$ построена аксонометрия, объединяющая пространственную совокупность трёх осей рис. 1. (n_b , $\Delta \omega_r$, ΔQ_r).

3. Варьирование проекционных точек на оси $n_b(g)$, является показателем изменения функциональных значений оси Δv_r при помощи линий связи.

Плоскости точноно – эпюрных номограмм. Горизонтальная плоскость разделяет номограмму на два яруса. Эта плоскость делит также фронтальную и профильную плоскости, являясь определителем октантовых ячеек верхнего (I, II, V, VI), и октантовых ячеек нижнего яруса (III, IV, VII, VIII) [1, С.15], [2, С.44 – 54], [13, С.262], [15, С.224].

Фронтальную и профильную плоскости на рис.1. в верхнем ярусе можно считать функциональными плоскостями, т.к. их пересекают горизонтальные плоскости уровня, которые также пересекают графические зависимости точечных экспериментальных замеров, и лежат выше горизонтальной плоскости. Так верхняя плоскость уровня пересекает двухмерные зависимости в точках *Б* и *Д*, и аксонометрию в точке *С*. Все эти значения аргументальных точек связаны линиями связи с функциональной точкой *А* и лежат на одной горизонтальной плоскости уровня *А, Б, С* и *Д*.

Все плоскости уровня, лежащие выше горизонтальной плоскости, являются функциональными, если функциональной осью принята ось, лежащая выше горизонтальной плоскости.

Фронтальная и профильная плоскости в нижнем ярусе являются аргументальными плоскостями, т.к. их пересекают горизонтальные плоскости уровня, которые также пересекают графические зависимости точечных экспериментальных замеров, и лежат ниже горизонтальной плоскости. Нижняя плоскость уровня пересекает двухмерные зависимости в точках *Т* и *Р*, и аксонометрию в точке *О*. Все эти значения аргументальных точек связаны линиями связи с промежуточной функциональной точкой *Л* и лежат на одной горизонтальной плоскости уровня *Т, О, Р* и *Л*. Проекции точек *Т, Р* и *О*, имеют проекционную связь с точками *Б, Д, С*, с лежащими на верхней горизонтальной плоскости уровня, которая пересекает функциональную ось Δv_r .

Таким образом, любая точка на функциональной оси является результирующим точечным параметром всех участвующих в эксперименте физических величин, связанных с ней линиями связи.

Аргументальная плоскость, это такая плоскость, которая является носителем переменных аргументальных зависимостей, такой плоскостью, при использовании эпюрной октантовой номографической модели, является октантовая горизонтальная плоскость.

Точечный замер – это один из моментальных экспериментальных замеров всех параметров, соединённых замкнутой цепью линий связи.

Любой, произвольно взятый, точечный замер на рис. 1. может быть определён двумя горизонтальными плоскостями уровня (*А, Б, С* и *Д* верхний ярус), (*Т, О, Р* и *Л* нижний ярус) и горизонтальной плоскостью (*Е, Л, М* и *К*). Одна плоскость пересекает функциональную ось Δv_r верхнего яруса, другая является промежуточно-функциональной и пересекает нижний ярус с осью $n_b(g)$, а третья рабочая горизонтальная разделяет октанты на два яруса.

Описание номограммы рис. 1. Количественные зависимости параметров ΔQ , $\Delta \omega$ и Δv и $n_b = 9 \div 23g$, при частоте $f_b = 150$ Гц. Точноно-эпюрная двухоктантовая номограмма определяет смену структурного режима двухфазного потока. На рис. 1. она показана затенённой горизонтально проецирующей плоскостью. Место раздела проходит по критическим проекционным точкам. Каждая часть разделённой кривой имеет свою эмпирическую закономерность. Эксперимент проводился с дисперсной структурой. Под действием варьирования вибрационного ускорения $n_b = 9 \div 23g$, при частоте $f_b = 150$ Гц. Исходная структура трансформировалась в дисперсионно – плёночную, что подтверждает фото материал и самое главное эпюрная номограмма [9, С.96]. Вот почему конфигурация кривых до критических точек соответствует одной структуре, а после её раздела изменяет первоначальное положение. Таким образом, эпюрная двух октантовая номограмма способствует не только нахождению функционального значения любого точечного замера, при помощи проекционной связи, но и нахождению смены физических закономерностей и их обоснование при помощи графических построений. Для того чтобы образно показать работу эпюрной номограммы достаточно сравнить её с проводником электрического тока. Любую параметровую проекцию точки сравним с электрической лампой, линии связи, с проводником электрического тока, функциональную проекцию точки с электрической лампой иного цвета. И так, зная лишь один точечный замер одного из параметров, при помощи линий связи получим не только функциональный результат, но и параметровую аргументальную связь, каждого точечного замера проведённого эксперимента. На рис. 1. штриховкой отмечены две

горизонтальные плоскости уровня (А, Б, С и Д верхний ярус), (Т, О, Р и Л нижний ярус) и горизонтальной плоскостью (Е, Л, М и К). Линии связи, соединяющие эти точки, являются линиями связи одного точечного замера.

Точки пересечения плоскостей уровня с геометрическими образами, определяют точечные экспериментальные замеры [7, С.69 - 74].

Любая горизонтальная плоскость уровня, пересекающая функциональную ось Δv в любой её точке, пересекает геометрические образы номографических параметров верхнего октантного яруса. Эти пересечения, являются функциональными, определителями любых замеров, рассматриваемого яруса [9, С. 69 - 76].

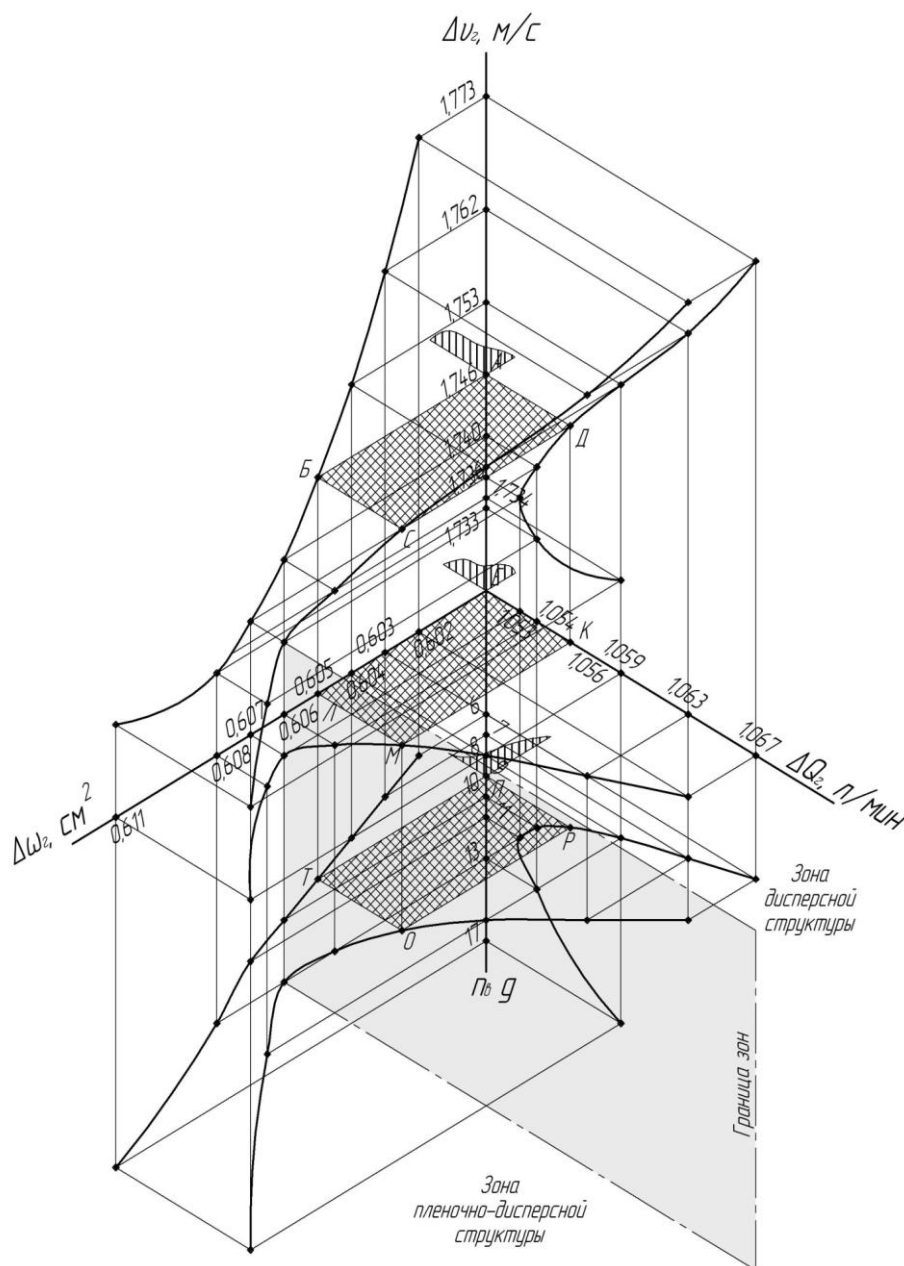


Рис. 1 – Точечно – эпюрная двухоктантовая номограмма [9, С.96].

(Количественные зависимости параметров ΔQ , $\Delta \omega$ и Δv и $n_b = 9 \div 23g$, при частоте $f_b = 150$ Гц.)

Описание номограммы рис.2. Влияния вибрационных ускорений $n_b = 4 \div 14(g)$ при $f_b = 100$ (Гц) на скорость двухфазного дисперсного потока с последующей его трансформацией. На рис. 2., как и на рис. 1., все связанные между собой линиями связи проекции точек, указанных ниже, являются точками одного замера и определителями одной из функциональных материальных точек [3, С.37 – 47, 4, С.112].

Проекция траекторией точек кривой, лежащие на горизонтальной плоскости $8_0, 7_0, 6_0, 5_0, 4_0, 3_0$ являются ей экспериментальными замерами и принадлежат также горизонтально - проецирующей поверхности. Проекция траекторией точек кривой $8_{01}, 7_{01}, 6_{01}, 5_{01}, 4_{01}, 3_{01}$, лежат на горизонтально - проецирующей поверхности и пересекаются её нижней горизонтальной плоскостью уровня, которая находится ниже горизонтальной плоскости. Поверхность раскрашена тремя цветами. Каждый из цветов горизонтально - проецирующей поверхности соответствует своей структуре газожидкостного потока. Салатный цвет соответствует дисперсной структуре, синий цвет - дисперсионно – плёночной, а розовый неустановившемуся потоку.

Проекция траекторией точек кривой $8^1_0, 7^1_0, 6^1_0, 5^1_0, 4^1_0, 3^1_0$, лежит на горизонтально - проецирующей поверхности, и пересекаются с верхней горизонтальной плоскостью уровня, которая находится выше горизонтальной

плоскости. Эта секущая горизонтальная плоскость уровня проходит через фронтальную и профильную плоскость. Пересечение этой плоскостью ось Δv , является функциональным определителем графических закономерностей.

Получение любой поверхности эпюрной номограммы определяет связь проекций точек нижнего и верхнего ярусов линиями связи, проходящих параллельно направлению осей Δv , n_g . Линии связи, проходящие через точки 8_{01} , 8_0 , 8^1_0 ; 7_{01} , 7_0 , 7^1_0 ; 6_{01} , 6_0 , 6^1_0 ; 5_{01} , 5_0 , 5^1_0 ; 4_{01} , 4_0 , 4^1_0 ; 3_{01} , 3_0 , 3^1_0 ; 2_{01} , 2_0 , 2^1_0 ; 1_{01} , 1_0 , 1^1_0 , выполняют функции образующей поверхности эпюрной номограммы. Отсюда следует.

I. Теорема: если две точки, принадлежащие двум аксонометрическим проекциям, связаны между собой перпендикулярными линиями связи, то такие отрезки являются образующими эпюрной номографической двухоктантовой поверхности.

Аксонометрические проекции кривых верхнего и нижнего ярусов, являются направляющими номографической поверхности, а образующие этой поверхности пересекают горизонтальную плоскость по горизонтальным проекциям третьей направляющей. Отсюда следует:

II. Теорема: Если две аксонометрические проекции, параметральных геометрических образов, представлены траекториями точек, которые пересекаются образующими номографической поверхности, и эти образующие пересекают горизонтальную плоскость по траекториям точек горизонтальной проекции экспериментальной аргументальной зависимости, то эти три проекции являются направляющими двухоктантовой эпюрной номограммы.

Плоскости, которые образуют октантовые ячейки, при помощи линий связи двумерных графиков, могут охарактеризовать общую картину эксперимента. Однако аксонометрический аналог материализует, номографической иллюстрацией, органическую связь параметров всего эксперимента. Чтение рис. 2. позволяет понять природу эксперимента, её физические характеристики, а также изменения функциональной зависимости, от варьирования аргументальных параметров.

Выводы.

Графические зависимости, выражаются геометрическим элементом (прямая, кривая и т.д.), а точно - эпюрная номограмма позволяет контролировать экспериментальный процесс.

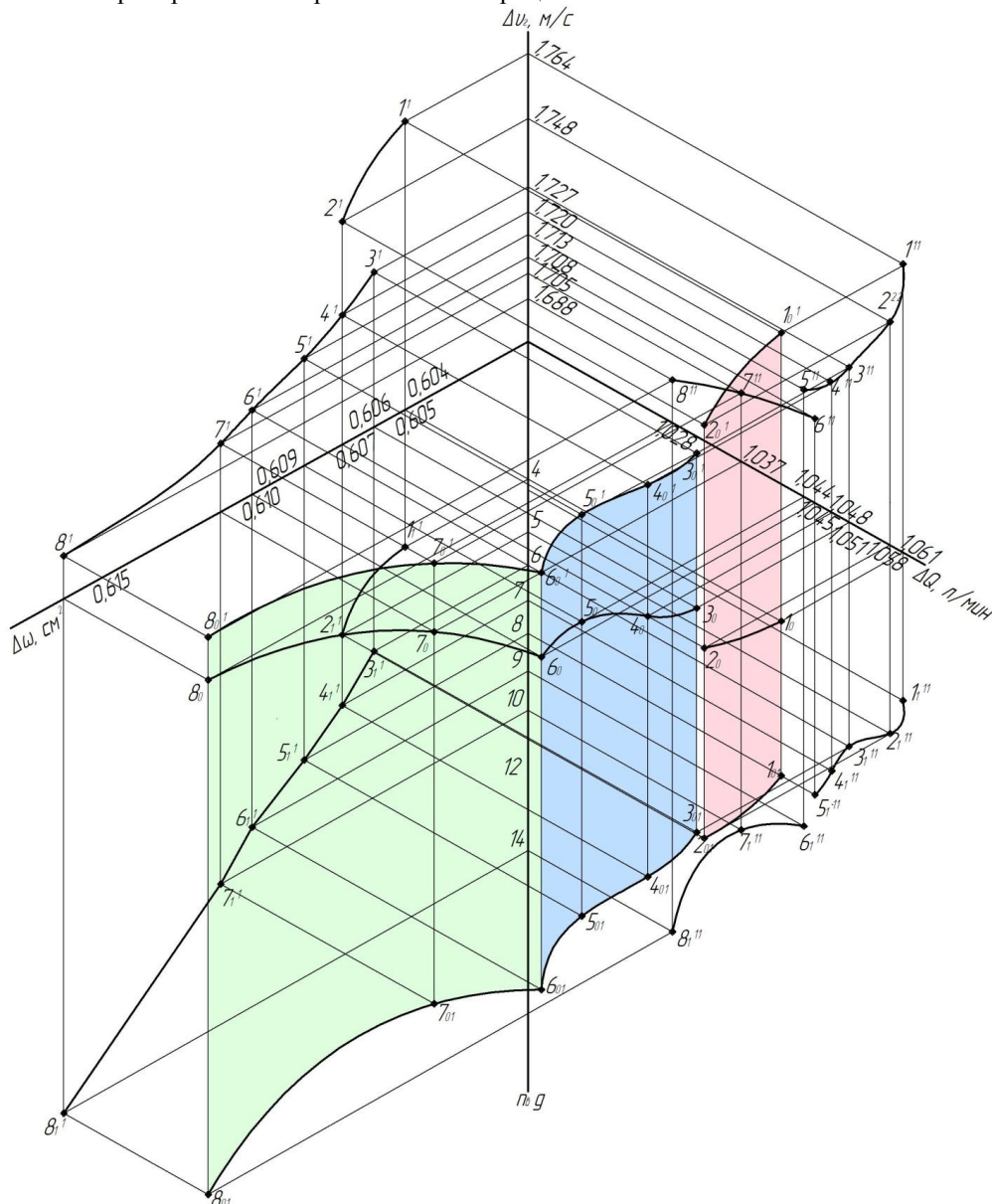


Рис. 2 – Двухоктантовая номограмма. Влияния вибрационных ускорений $n_b = 4 \div 14(g)$ при $f_b = 100$ (Гц) на скорость двухфазного дисперсного потока с последующей его трансформацией [11, С 47].

Если в процессе эксперимента появляется резкое отклонение от первоначальной закономерности, которая выражается уходом одной из точек от траектории графического элемента (прямая становится ломанной прямой), то замер ошибочный.

Ошибочные точечные замеры могут иметь субъективные и объективные характеристики, уменьшающие точность замера.

Точечно-эпюрная двухоктантовая номограмма позволяет определять на графических участках номограммы *аномальные* участки, физическое объяснение, которых возможно при тщательном анализе геометрических образов [8, С.112 - 119]. Не следует путать графические аномальные участки с одной или несколькими ошибочными точками, определяющими геометрические образы. Примером аномального участка может служить участок точек 1-2 рис. 2.

Аномальный графический участок, это автономный участок, лежащий между двумя графическими закономерностями или рядом с одним из них на рис. 2. он окрашен в розовый цвет.

На рис. 2. на проекциях двумерных зависимостей такие участки показаны разрывом с последующим изменением направлением траекторий кривых. Аксонометрические, оторванные от основных кривых, участки номограммы демонстрируют геометрическое отличие от первоначальных закономерностей, разрывом траектории.

Точечно-эпюрная двухоктантовая номограмма позволяет определить изменения первоначальных характеристик эксперимента. В процессе проведения опыта, под влиянием параметральных показателей, жидкость может превратиться в двухфазную смесь, изменить первоначальную структуру потока и т.д.

На рис. 2. эпюрная двухоктантовая номограмма демонстрирует переход, дисперсной структуры, в дисперсно-плёночную структуру. Смена структур показана разделительной, затенённой плоскостью рис.1. На фотографиях даётся дополнительный контроль этого перехода, но даже фотографии не дают чёткую информацию, предлагаемую номограммой. Базируясь на вышеизложенных выводах можно сделать заключение.

III. Теорема: если траектории точек кривых подчиняются закономерности увеличения или уменьшения одного параметра относительно другого, то нарушение такой закономерности изменяет первоначальное направление геометрического образа, что приводит к изменению физического состояния одного или нескольких экспериментальных параметров.

Список литературы / References

1. Гордон В.О., Семенцов – Огиевский М.А. Курс начертательной геометрии/ В.О. Гордон, М.А. Семенцов – Огиевский, М., 1988, 2002. С. 272.
2. Сальков Н.А., Начертательная геометрия – база для геометрии аналитической / Н.А. Сальков. // Геометрия и графика. – 2016. - Т. 4. - №1. - С.44 – 54. - DOI; 10.12737/18057.
3. Сальков Н.А., Начертательная геометрия – база для компьютерной графики / Н.А. Сальков. // Геометрия и графика. – 2016. - Т. 4. - №2. - С.37 – 47. - DOI; 10.12737/19832.
4. Сальков Н.А., Начертательная геометрия – теория изображений / Н.А. Сальков // М.: ИНФРА - М., - 2013. - С. 174.
5. Сальков Н.А., Начертательная геометрия – базовый курс / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. – 2016. - Т.4. - №2. - С.37 – 47. - DOI; 10.12737/19832.
6. Климухин А.Г. Начертательная геометрия. // А.Г Климухин. М. - 1973. - С. 368.
7. Левкин Ю.С. Получение четырёхмерных номограмм на базе теоремы подобия. // Ю.С. Левкин Геометрия и графика – М. – 2017. – С. 69 – 74. DOI; 10.12737/article_5953f33427942.789301109.
8. Левкин Ю.С. Влияние вибрационных колебаний на характеристики структуры двухфазного потока. // Ю.С. Левкин. Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. - Новочеркасск – 2016 - № 2. – С. 112 - 119.
9. Левкин Ю.С. Некоторые структуры газожидкостных потоков в поле вибрации. / Ю.С. Левкин - Монография. Самарский государственный авиационный университет - тираж 200 экз. - Самара 2016. - С. 113.
10. Левкин Ю.С. Построение эпюрной номограммы на базе теоремы совмещения // Ю.С. Левкин Международный научно-исследовательский журнал Екатеринбург, №10 – (64) – ч.3 - Октябрь- 2017 – С 69 - 76. – DOI-https://10.23670/IRJ/2017/64/079.
11. Левкин Ю.С. Влияние вибрационных колебаний f_v 30 ÷ 100(Гц) на параметры гидродинамических характеристик. // Ю.С. Левкин Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. - № 4. - Новочеркасск. – 2017. – С. 47.
12. Начертательная геометрия /Н.Ф.Четверухин, В.С. Левицкий З.И. Пряникова и др. М., Высшая школа. - 1963. - С. 420.
13. Начертательная геометрия / С.М. Колотов, М.Ф. Вестефеев, В.Е. Мехайленко, и др. Киев: Вища школа. - 1975. - С. 262.
14. Начертательная геометрия / Н.Н. Крылов, Г.С. Иконникова, В.Л. Николаев, В.Е.Васильев. М. Высшая школа. - 2000. - С. 224.
15. Иванов Г.С. Начертательная геометрия./ Г.С. Иванов/ М. Машиностроение - 1995. - 224с.
16. Зуева Н.М. Номограммы.// Н.М. Зуева МБОУ– 2013. – С.15 .

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gordon V.O., Sementsov — Ogievsky M.A. Kurs nachertatel'noy geometrii [Course Descriptive Geometry] / [Text] / V.O. Gordon, M.A. Sementsov — Ogievsky, Moscow, 1988, 2002. P. 272. [In Russian]
2. Salkov N.A. Nachertatel'naya geometriya – baza dlya geometrii analiticheskoy [Descriptive Geometry - Basis for Analytical Geometry] [Text] / N.A. Salkov // Geometry and graphics. - 2016. - V. 4. - No. 1. - P.44 - 54. - DOI; 10.12737 / 18057. [In Russian]
3. Salkov N.A. Nachertatel'naya geometriya – baza dlya komp'yuternoy grafiki [Descriptive Geometry - Base for Computer Graphics] [Text] / N.A. Salkov // Geometry and graphics. - 2016. - V. 4. - No. 2. - P.37 - 47. - DOI; 10.12737 / 19832. [In Russian]

4. Salkov N.A. Nachertatel'naya geometriya – teoriya izobrazheniy [Descriptive Geometry - Image Theory] [Text] / N.A. Salkov // Moscow: INFRA - M., - 2013. - P. 174.
5. Salkov N.A. Nachertatel'naya geometriya – bazovyy kurs [Descriptive Geometry - Basic Course] [Text] / N.A. Salkov // Geometry and graphics. - 2016. - V.4.- No.2. - P.37 - 47. - DOI: 10.12737 / 19832. [In Russian]
6. Klimukhin A.G. Nachertatel'naya geometriya [Descriptive Geometry]. [Text] // A.G. Klimukhin. M. - 1973. - P. 368. [In Russian]
7. Levkin Yu.S. Polucheniye chetyrokhmernykh nomogramm na baze teoremy podobiya [Obtaining Four-dimensional Nomograms on Basis of Similarity Theorem] / [Text] // Yu.S. Levkin. Geometry and graphics - M. - 2017. - P. 69 - 74. DOI: 10.12737 / article_5953f33427942.789301109. [In Russian]
8. Levkin Yu.S. Vliyaniye vibratsionnykh kolebaniy na kharakteristiki struktury dvukhfaznogo potoka [Influence of Vibration Oscillations on Characteristics of Structure of a Two-phase Flow] // [Text] // Yu.S. Levkin. Bul. of high schools. North-Caucasus. region. Technical science. - Novochoerkassk - 2016 — No. 2. - P. 112 — 119. [In Russian]
9. Levkin Yu.S. Nekotoryye struktury gazozhidkostnykh potokov v pole vibratsii [Some Structures of Gas-liquid Flows in Field of Vibration] // [Text] / Yu.S. Levkin - Monograph. Samara State Aviation University - 200 copies. - Samara 2016. - P. 113. [In Russian]
10. Levkin Yu.S. Postroyeniye epyurnoy nomogrammy na baze teoremy sovmeshcheniya [Construction of Eccentric Nomogram Based on Theorem of Coincidence] / [Text] // Yu.S. Levkin International Scientific and Research Journal, Ekaterinburg, No. 10 - (64) - Part 3 - October - 2017 - From 69 - 76. - DOI: 10.23670 / IRJ / 2017/64/079. [In Russian]
11. Levkin Yu.S. Vliyaniye vibratsionnykh kolebaniy $f_b 30 \div 100$ (gts) na parametry gidrodinamicheskikh kharakteristik [Influence of Vibrations $f_b 30 \div 100$ (Hz) on Parameters of Hydrodynamic Characteristics] [Text] // Yu.S. Levkin Bul. of High schools. North-Caucasus. region. Technical science. - No. 4. - Novochoerkassk. - 2017. - P. 47. [In Russian]
12. Nachertatel'naya geometriya [Descriptive Geometry] / [Text] / N.F. Chetverukhin, V.S. Levitsky Z.I. Pryannikova et al. M., High School. - 1963. - P. 420. [In Russian]
13. Nachertatel'naya geometriya [Descriptive Geometry] // [Text] / S.M. Kolotov, M.F. Vestefeev, V.E. Mehaylenko, et al. Kiev: Vishcha school. - 1975. - P. 262. [In Russian]
14. Nachertatel'naya geometriya [Descriptive Geometry] // [Text] / N.N. Krylov, G.S. Ikonnikova, V.L. Nikolaev, V.E. Vasiliev. M. High school. - 2000. - P. 224. [In Russian]
15. Ivanov G.S. Nachertatel'naya geometriya [Descriptive Geometry] / G.S. Ivanov / [Text] / M. Mechanical Engineering - 1995. - 224 p. [In Russian]
16. Zueva N.M. Nomogrammy [Nomograms] / [Text] / N.M. Zueva MBOU-2013. - P.15. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.080>Лиманцев А.А.¹, Денисенко А.В.²^{1,2}Донской государственный технический университет, Академия строительства и архитектуры**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ****Аннотация**

Приведено решение задачи о определении оптимального расчетного сопротивления для стальной двутавровой балки из соображений проектирования наименее металлоемкого сечения. Дано определение и формулы для определения удельных характеристик сечения. Показаны наилучшие распределения материала в сечении при использовании сталей с разными сопротивлениями. В случае, если определяющим является условие прочности, оптимальное распределение материала по сечению $a=0,5$, если жесткость – $a=0,75$. Найдено эталонное сечение двутавровой балки для данных условий.

Ключевые слова: стальная балка, двутавр, высокопрочная сталь, расчетное сопротивление, жесткость.

Limantsev A.A.¹, Denisenko A.V.²¹Don State Technical University, Academy of Civil Engineering and Architecture²Don State Technical University, Academy of Civil Engineering and Architecture**DETERMINATION OF OPTIMAL DESIGN RESISTANCE AND SECTION SHAPE OF BILATERAL BEAM****Abstract**

The solution of the problem on determining the optimal design resistance for a steel bilateral beam is proposed in virtue of design the least metal-intensive section. The definition and formulas for determining the specific characteristics of the section are given. The best material distribution in the cross section is shown when using steels with different resistances. In case if the strength condition is the determining factor, the optimal material distribution over the cross-section $a=0.5$, if the rigidity is $a=0.75$. I found the reference cross section of the bilateral beam for these conditions.

Keywords: steel beam, bilateral beam, high-strength steel, design resistance, rigidity.

В настоящее время одним из основных направлений развития проектирования металлических конструкций является применение сталей повышенной и высокой прочности. Применяя такие стали можно существенно сократить металлоемкость конструкций. Однако не во всех случаях увеличение расчетного сопротивления приводит к уменьшению поперечного сечения и в таком случае применение высокопрочной стали будет не целесообразно. В данной статье приводится решение задачи поиска оптимального расчетного сопротивления стали для двутавровой балки.

Для решения задачи наименее металлоемкого сечения удобно разделить эту задачу на две части: поиск формы и поиск размеров при заданной форме.

Таким образом мы уменьшаем количество вариантов. Первоначально выбираем оптимальную форму, а затем находим необходимую площадь поперечного сечения. Определение величины площади поперечного сечения при известной оптимальной форме, будет иметь единственное решение [2].

В геометрических характеристиках сечения удобно отделить форму от размеров сечения вводя понятие удельная характеристика сечения. В таком случае мы сможем составить следующие зависимости:

$$I = \rho \cdot A^2 \quad (1)$$

$$W = \omega \cdot A^3 \quad (2)$$

Удельные характеристики двутаврового сечения ω и ρ определяются по формулам (3) и (4) соответственно.

$$\omega = \frac{(3 - 2 \cdot \alpha)(\alpha \cdot \lambda_w)^{\frac{1}{2}}}{6} \quad (3)$$

$$\rho = 0.5 \left[\left(1 - \frac{2\alpha}{3} \right) \cdot \alpha \cdot \lambda_w \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Оптимальная форма сечения при внецентренном сжатии стержня будет при которой нормальные напряжения в сечении будут минимальными. Тогда оптимальной форме внецентренно-сжатого стержня соответствует сечение с $\rho = \rho_{\max}$, $\omega = \omega_{\max}$. Оптимальная форма при изгибе по условию прочности получается в случае $\omega = \omega_{\max}$. По условию жесткости для изгибаемого стержня оптимальной будет форма сечения, которой соответствует наименьший прогиб. Тогда следует, что оптимальную форму получим когда $I = I_{\max}$ или $\rho = \rho_{\max}$.

С помощью выражения (1) можно определить площадь сечения изгибаемого элемента двутаврового сечения, рассчитываемого по прочности [5]. Площадь сечения, рассчитываемого на жесткость, находится по (2).

$$A_s = \left[\frac{M}{\omega \cdot R_y} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

$$A_{j,s} = \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{q_n \cdot L^4}{E \cdot \rho^2 \cdot [f]} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Принимая во внимание формулу (1) можно составить выражение для определения коэффициента изменения массы изгибаемого элемента, рассчитываемого по прочности без учета изменения гибкости стенки (5) и с учетом изменения (6). Так же используя формулу (2), получим коэффициент массы при расчете на жесткость с учетом изменения гибкости стенки (7). Если изменение гибкости стенки не учитывать, то $\alpha_j = 1$. Для сравнения вариантов, отличающихся расчетным сопротивлением, составим формулы для определения площади сечения при расчете на: прочность – (10), жесткость – (11). Оптимальное расчетное сопротивление R_y получим из условия (12).

$$\alpha_m = \left[\frac{R_{y,s}}{R_y} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

$$\alpha_m = \left[\frac{R_{y,s}}{R_y} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$\alpha_j = \left[\frac{R_y}{R_{y,s}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

$$A = \alpha_m \cdot A_s \quad (10)$$

$$A_j = \alpha_j \cdot A_{j,s} \quad (11)$$

$$A = A_j \quad (12)$$

Выражение для определения оптимального расчетного сопротивления в аналитическом виде может быть получено для геометрически подобных сечений в виде (13), где коэффициент $k_1 = 5,25 \cdot 10^4 \text{ МПа}^{\frac{3}{4}}$. Для сечений с учетом влияния местной устойчивости в виде (14), где коэффициент $k_2 = 2,84 \cdot 10^4 \text{ МПа}^{\frac{7}{9}}$.

$$R_y = k_1 \frac{M}{\omega_s} \rho_s^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{[f/l]}{M^{\frac{1}{3}} \cdot l} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (13)$$

$$R_y = k_2 \left(\rho_s^2 \left(\frac{M}{\omega_s} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{[f/l]}{M^{\frac{1}{3}} \cdot l} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (14)$$

Решим задачу определения оптимального расчетного сопротивления по условиям прочности и жесткости для рядовой балки балочной клетки. В качестве примера взята второстепенная балка рабочей площадки комплекса доменной печи №7 ПАО «НЛМК» со следующими исходными данными: пролет $l=6\text{м}$, расчетный момент $M=0.302 \text{ МН} \cdot \text{м}$, момент от нормативной нагрузки $M_n=0.259 \text{ МН} \cdot \text{м}$. Гибкость стенки λ_w принимаем равным 100. Максимальный допустимый прогиб, согласно $[f/l] = 1/200$.

Удельные характеристики по формулам (3) и (4) будут равны соответственно:

$$\omega_x = \frac{(3 - 2 \cdot 0.5)(0.5 \cdot 100)^{\frac{1}{2}}}{6} = 2.357$$

$$\rho_x = 0.5 \left(\left(1 - \frac{2}{3} \cdot 0.5 \right) \cdot 0.5 \cdot 100 \right)^{\frac{1}{2}} = 2.887$$

Графические решения представлены на рис. 1, 2. Эталонные сечения для сравнения имеют $R_y = 210$ МПа, $A_s = 72$ см², $A_{j,s} = 37.6$ см². Оптимальное решение получено в случае сохранения геометрического подобия при $R_y = 553$ МПа, в случае учета изменения гибкости стенки λ_ω – при $R_y = 496$ МПа.

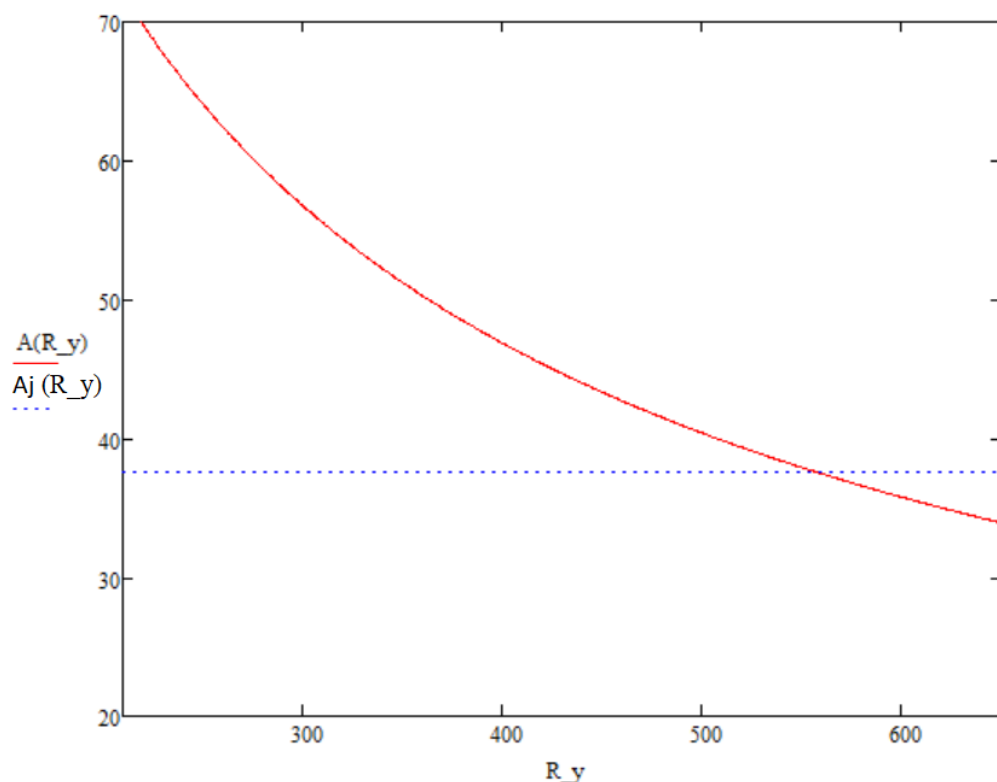


Рис. 1 – Изменение площади поперечного сечения без учета изменения гибкости стенки в зависимости от расчетного сопротивления

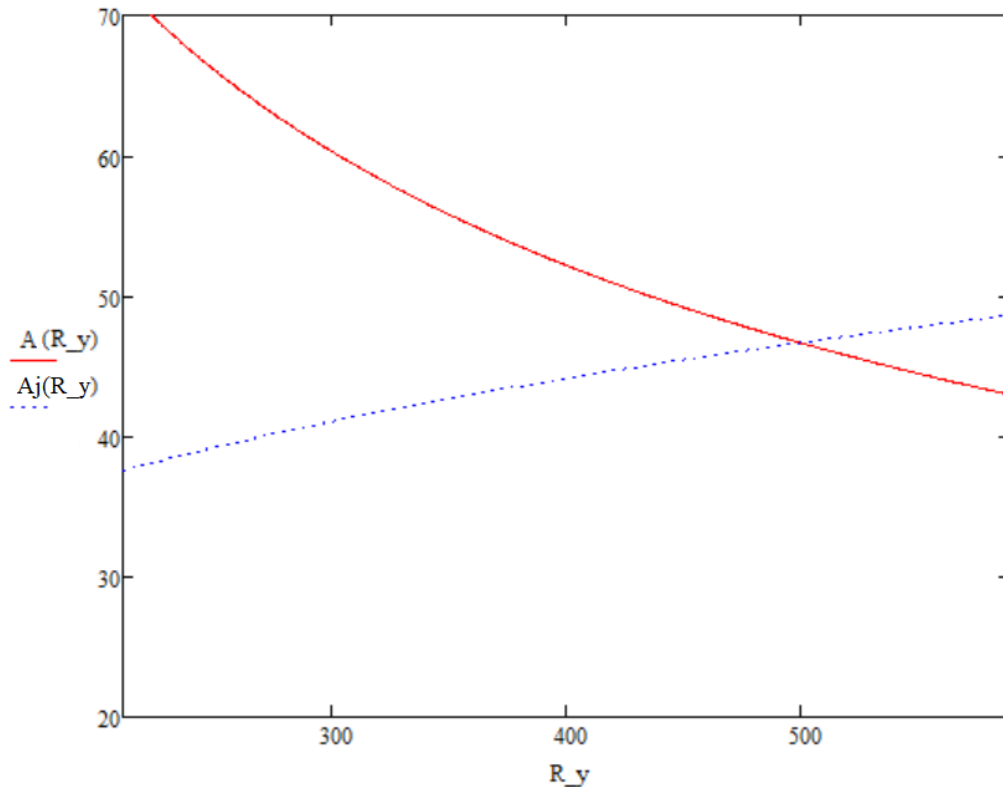


Рис. 2 – Изменение площади поперечного сечения с учетом изменения гибкости стенки в зависимости от расчетного сопротивления

Из этого следует, что в данных балках, из соображений проектирования наименее металлоемкого сечения, целесообразно применять стали высокой прочности. При применении стали С440 площадь сечения $A = 50.3$ см², при С590 – $A = 48.6$ см².

Теперь определим коэффициенты распределения материала в сечении симметричного двутавра, обеспечивающие минимальное значение площади по условиям прочности и жесткости. Варьируя коэффициентом распределения материала по сечению a в пределах 0,1-1,0 по формулам (5) и (6) найдем площади сечений [3]. Решение представлено в виде графика на рисунке 3, при $R_y = 575$ МПа, $\lambda_w = 60$, $[l/f] = 150$. Оптимальный коэффициент в данных условиях $a = 0.72$. На рисунке 4 решение для стали с расчетным сопротивлением $R_y = 430$ МПа и $\lambda_w = 70$. В этом случае нужно принимать $a = 0.5$

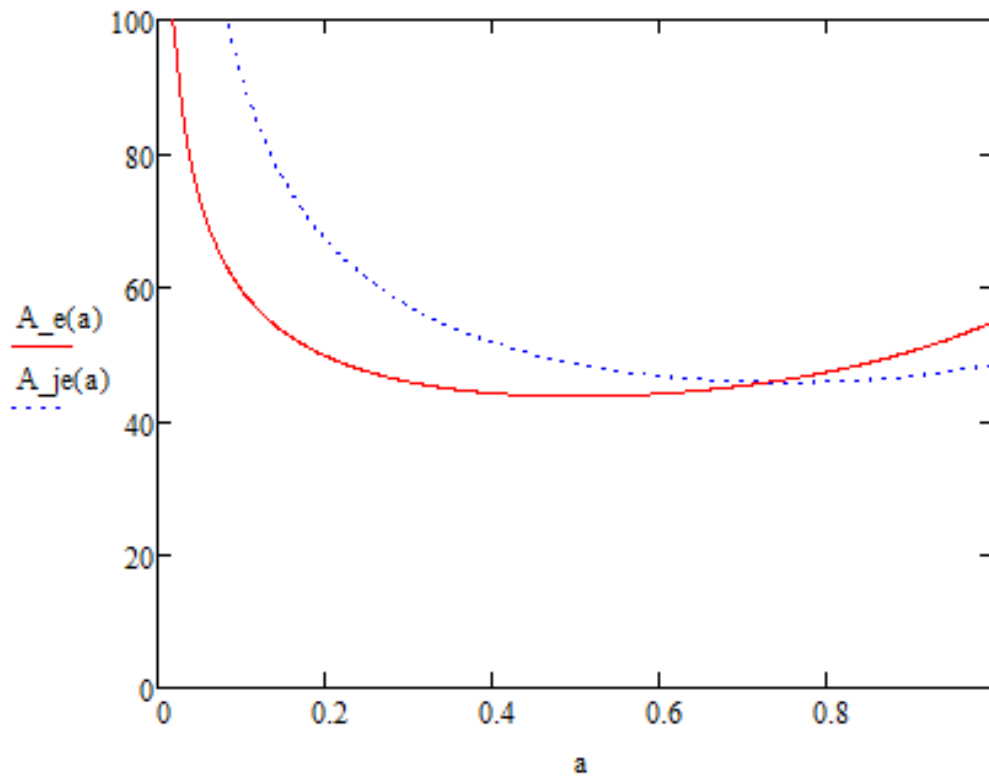


Рис. 3 – Изменение площади поперечного сечения в зависимости от коэффициента распределения материала по сечению для стали C590

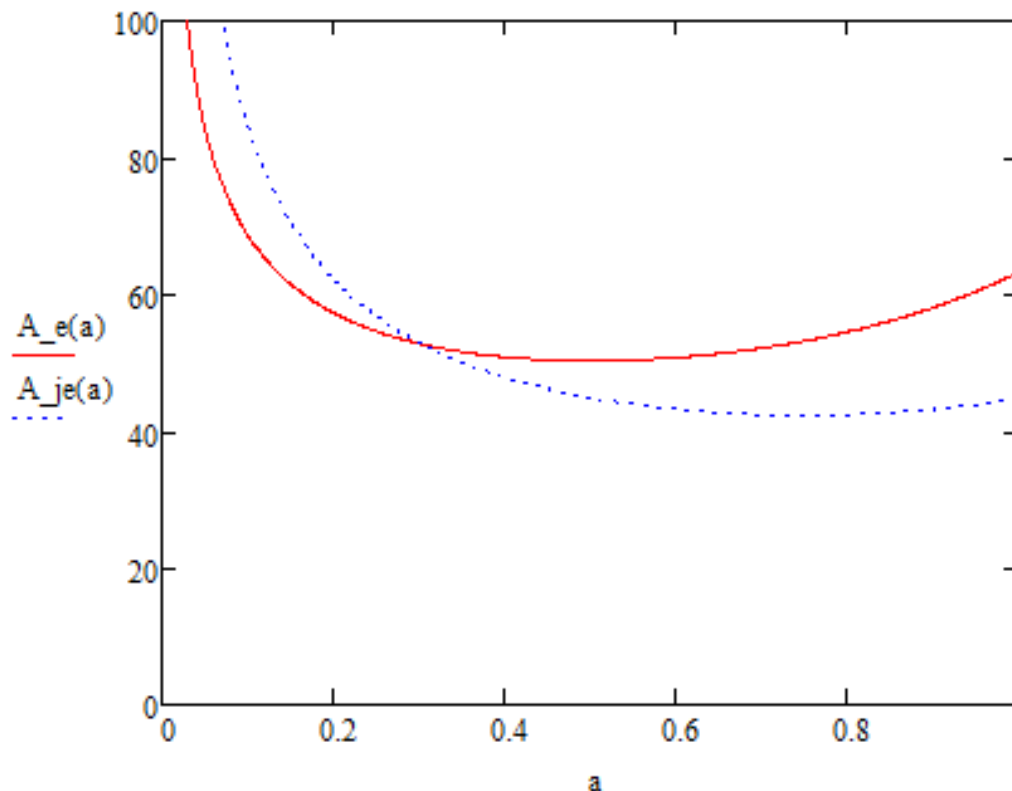


Рис. 4 – Изменение площади поперечного сечения в зависимости от коэффициента распределения материала по сечению для стали C440

В случае, если при расчете балки в упругой стадии определяющим является условие прочности, оптимальная форма балки – двутавр симметричный с $a = 0,5$, $\lambda_w = \lambda_{w,max}$. Если определяющим является условие жесткости, то

оптимальная форма имеет место при $\alpha = 0,75$, $\lambda_w = \lambda_{w, \max}$. В случае, когда определяющими могут быть и условие прочности, и условие жесткости, оптимальная форма определяется коэффициентом $\alpha = 0,5 \div 0,75$.

Зная оптимальные значения расчетного сопротивления и коэффициента распределения материала, решим задачу определения эталонного двутаврового сечения [4]. При $R_y = 430 \text{ МПа}$, $\lambda_w = 70$, $\lambda_f = 9,45$, $\alpha = 0,5$. Удельные характеристики $\omega_x = 1,972$, $\rho_x = 2,415$.

Определяем площадь сечения из условия прочности

$$A = \left(\frac{0,302}{1,972 \cdot 575} \right)^{2/3} = 50,3 \text{ см}^2$$

Определяем площадь сечения из условия жесткости

$$A_j = \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{0,57 \cdot 600^4}{20600 \cdot 2,415 \cdot 4} \right)^{1/2} = 44,9 \text{ см}^2$$

Площадь стенки

$$A_w = 0,5 \cdot 50,3 = 25,15 \text{ см}^2$$

Площадь полки

$$A_f = \frac{50,3 - 25,15}{2} = 12,57 \text{ см}^2$$

Высота стенки

$$h_w = (70 \cdot 25,15)^{1/2} = 41,95 \text{ см}$$

Толщина стенки

$$t_w = \frac{25,15}{41,95} = 0,6 \text{ см}$$

Ширина полки

$$b_f = (9,45 \cdot 12,57)^{1/2} = 10,84 \text{ см}$$

Толщина полки

$$t_f = \frac{12,57}{10,84} = 1,16 \text{ см}$$

Таким образом, решив эти задачи, мы можем запроектировать двутавровую балку с наименьшей площадью поперечного сечения и, следовательно, наименьшим расходом стали.

Список литературы / References

1. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 2011–05–20. – М. : Минрегион России, 2010. – 173 с.
2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Введ. 2011–05–20. – М. : Минрегион России, 2010. – 80 с.
3. Стрелецкий Н.С. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций: Материалы к курсу металлических конструкций // Н.С. Стрелецкий, Д.Н. Стрелецкий. – Вып. IV. – М. : Стройиздат, 1964. – 360 с.
4. Стрелецкий Н.С. Основы законов веса металла в промышленных конструкциях: Сборник статей по металлическим конструкциям // Н.С. Стрелецкий. – М. : Стройиздат, 1934. – С. 3-37.
5. Шумицкий О.И. О рациональных конструктивных формах сварных МК: Металлические конструкции: Работы школы проф. Н.С. Стрелецкого // О.И. Шумицкий – М. : Стройиздат, 1966. – С. 420-429.
6. Сергеев Н.Д. Проблемы оптимального проектирования конструкций // Н.Д. Сергеев, А.И. Богатырев. – Л. : Стройиздат, 1971. – 136 с.
7. Шефтель Н.И. Улучшение качества и сортамента проката // Н.И. Шефтель. – М. : Metallurgiya, 1973. – 343 с.
8. Шварцбург Б.Г. Весовые показатели металлических перекрытий // Б.Г. Шварцбург, ЯЛ. Куценко. – Харьков : ОНТИ НКТП, 1934. – 44 с.
9. Чернашкин В.Г. Особенности изготовления конструкций из сталей высокой прочности: Монтажные работы в строительстве // В.Г. Чернашкин, В.С. Москвитин, У.Г.Г. Шибяев. – ЦБТН, 1967. Вып. 2
10. Указания по эффективному применению низколегированных сталей в строительных МК: СН 316-65. – М.: Стройиздат, 1966. – 11 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. SP 16.13330.2011. Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81* [Steel Structures. Updated Version of SNiP II-23-81*]. – Intr. 2011-05-20. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2010. – 173 p. [In Russian]
2. SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85* [Loads and Impacts. Updated Version of SNiP 2.01.07-85*]. – Intr. 2011-05-20. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2010. – 80 p. [In Russian]
3. Streletsky N.S. Proyektirovaniye i izgotovleniye ekonomichnykh metallicheskih konstruksiy: Materialy k kursu metallicheskih konstruksiy [Designing and Manufacturing Economical Metal Structures: Materials to Course of Metal Constructions] // N.S. Streletsky, D.N. Streletsky. – Is. IV. – M.: Stroyizdat, 1964. – 360 p. [In Russian]
4. Streletsky N.S. Osnovy zakonov vesa metalla v promyshlennykh konstruksiyakh: Sbornik statey po metallicheskim konstruksiyam [Fundamentals of Laws of Weight of Metal in Industrial Designs: Collection of Articles on Metal Structures] // N.S. Streletsky. – M.: Stroyizdat, 1934. – P. 3-37. [In Russian]
5. Shumitsky O.I. O ratsional'nykh konstruktivnykh formakh svarnykh MK: Metallicheskiye konstruksii: Raboty shkoly prof. N.S. Streletskogo [On Rational Constructive Forms of Welded MS: Metal structures: Works of School of Prof. N.S. Streletsky] // O.I. Shumitsky – M.: Stroyizdat, 1966. – P. 420-429. [In Russian]

6. Sergeev N.D. Problemy optimal'nogo proyektirovaniya konstruktivnykh [Problems of Optimal Design of Structures] // N.D. Sergeev, A.I. Bogatyrev. - L.: Stroyizdat, 1971.- 136 pp. [In Russian]
7. Sheftel N.I. Uluchsheniye kachestva i sortamenta prokata [Improvement of Quality and Assortment of Rolled Steel] // N.I. Sheftel. - M.: Metallurgy, 1973.- 343 p. [In Russian]
8. Schwarzburg B.G. Vesovyye pokazateli metallicheskih perekrytiy [Weighted Indices of Metal Overlaps] // B.G. Schwarzburg, Ya.L. Kutsenok. - Kharkov: ONTI NKTP, 1934.- 44 p. [In Russian]
9. Chernashkin V.G. Osobennosti izgotovleniya konstruktivnykh iz staley vysokoy prochnosti: Montazhnyye raboty v stroitel'stve [Features of Manufacture of Structures of High-strength Steel: Installation Work in Construction] // V.G. Chernashkin, V.S. Moskvitin, U.G. Shibaev. - CBTN, 1967. Issue. 2 [In Russian]
10. Ukazaniya po effektivnomu primeneniyu nizkolegirovannykh staley v stroitel'nykh MK: SN 316-65 [Instructions on the effective use of low-alloy steels in building materials: SN 316-65.] - Moscow: Stroiizdat, 1966. - 11 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.089>

Мельников С.А.¹, Шакинов Е.Е.², Плотников Д.И.³, Паламарчук Д.В.⁴, Мельников Н.А.⁵

¹ORCID: 0000-0001-9226-297X, студент, ²ORCID: 0000-0001-5086-071X, студент,

³ORCID: 0000-0002-4566-4885, студент, ⁴ORCID: 0000-0002-0498-2991, студент,

⁵ORCID: 0000-0001-5042-1186, студент,

Омский Государственный Технический Университет

МОНИТОРИНГ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Аннотация

Проведён анализ современного уровня развития электрических сетей. Рассмотрены основные устройства контроля, на основе которых осуществляется управление пропускной способностью линий электропередачи. Описаны преимущества использования устройств мониторинга линий электропередачи в режиме реального времени. Представлен перечень основных характеристик, на основании которых может быть построено управление пропускной способностью линий электропередачи в нормальном и аварийном режиме работы электрических сетей.

Ключевые слова: устройства для измерения температуры провода, стрела провеса, линия электропередачи, статическая и динамическая оценки температуры провода.

Melnikov S.A.¹, Shakenov E.E.², Plotnikov D.I.³, Palamarchuk D.V.⁴, Melnikov N.A.⁵

¹ORCID: 0000-0001-9226-297X, Student, ²ORCID: 0000-0001-5086-071X, Student,

³ORCID: 0000-0002-4566-4885, Student, ⁴ORCID: 0000-0002-0498-2991, Student,

⁵ORCID: 0000-0001-5042-1186, Student,

Omsk State Technical University

MONITORING OF POWER LINES IN REAL-TIME BANDWIDTH MANAGEMENT PROBLEMS

Abstract

The analysis of the current development level of power lines is carried out in the paper. The primary control devices are considered, based on which the transmission capacity of power lines is controlled. The advantages of the use of devices for power line monitoring in real time are described. The list of the primary characteristics is presented, based on them the control capacity of power lines can be constructed in the normal and emergency mode of operation of power lines.

Keywords: devices for measuring wire temperature, sag, power line, static and dynamic estimates of wire temperature.

Устройства передачи электроэнергии теперь имеют способность удаленно отслеживать определенные механические и тепловые характеристики воздушных линий электропередачи в режиме реального времени. Эти устройства позволяют сообщать системным операторам диспетчерских управлений помимо линейных токов и напряжений, такие параметры как: стрелу провеса в настоящий момент, температура проводника и данные о погоде, например, ветер и интенсивность солнечного излучения на всей протяженности линии [1, С. 4-10].

Поток активной мощности в линии ограничен рядом характеристик. Очень важно поддержание температуры провода ниже максимально допустимой температуры линии, поэтому поддерживается допустимое расстояние до токоведущих частей вдоль линии и избегается чрезмерное старение проводов. Системный оператор диспетчерского управления обычно должен поддерживать поток мощности меньше пропускной способности при любых состояниях системы [2, С. 3-7], [3, С. 84-87].

Статическая оценка пропускной способности линии равняется максимальному линейному току, для которого температура линейного провода меньше, чем максимально допустимая температура провода при соответствующих установленных погодных условиях, являющихся фиксированными или варьирующимися в зависимости от сезона. Статическая оценка пропускной способности не меняется в зависимости от фактических погодных условий или времени суток. Динамическая оценка пропускной способности линии также равняется линейному току, для которого температура провода меньше, чем его максимально допустимая температура, но, так как погодные условия меняются с течением времени, динамические оценки пропускной способности линии действительны только на ограниченный промежуток времени, называемый периодом тепловой оценки (к примеру, на следующий час). Чем больше данных о погоде, тем точнее получается оценка пропускной способности в режиме реального времени, в сравнении со статической оценкой.

Процесс определения температуры провода и вычисления статической и динамической оценки линии определен в Стандарте IEEE 738, [4, С. 1-57] первоначально изданном в 1986 и обновлённом в 2012.

Это алгоритм, согласно которому температура неизолированного провода может быть вычислена для любой комбинации погодных условий и линейного тока. Кроме того, максимальный ток может быть вычислен по установленной максимально допустимой температуре линии и по принятым или спрогнозированным погодным условиям.

Данный алгоритм описывает следующее уравнение «теплового баланса» для неизолированного провода [5, С.1-45]:

$$q_c + q_r + m \cdot C_p \cdot \frac{dT_{avg}}{dt} = q_s + I^2 \cdot R(T_{avg}).$$

где q_c – конвективные тепловые потери (Bm/m); q_r – лучистый теплообмен (Bm/m); $m \cdot C_p$ – теплоемкость материала провода ($Bm/(m \cdot C^0)$); T_{avg} – средняя температура токопроводящей жилы (C^0); t – время (с); q_s – солнечная радиация (Bm/m); I – действующее значение тока нагрузки (А); R – активное сопротивление токопроводящей жилы (Om/m).

Уравнение теплового баланса позволяет производить расчет температуры и оценки пропускной способности линии, когда температура воздуха, интенсивность солнечного тепла, скорость и направление ветра известны. Поэтому приборы отслеживания погоды, помещенные вдоль линии, могут использоваться при вычислении пропускной способности линии в режиме реального времени. Некоторые очень важные проблемы, влияющие на точность динамической оценки, включают:

– Если метеостанция находится вне полосы отвода ЛЭП, измеренная скорость и направление ветра могут отличаться, от тех значений, которые непосредственно воздействуют на проводник в полосе отвода ЛЭП.

– Не зависимо от того в полосе отвода ЛЭП или вне ее, анемометр неспособен точно измерять скорость и направление ветра ниже 1 м/с.

– Если о средних скоростях ветра известно из случайных изменений скорости ветра и направления, усреднение скорее всего будет некорректным.

Существует большое количество приборов, которые могут использоваться для сбора данных о погоде вдоль воздушной линии электропередачи [6, С.74-76].

Некоторые наиболее широко применяемые источники и устройства описаны ниже:

1. Интернет данные о погоде

Данные о погоде и прогнозы на час вперед могут быть получены для многих местоположений во всем мире по интернету. Они обычно основаны на высотных измерениях, которые отфильтрованы цифровой моделью ландшафта с разрешением 5 км над уровнем земли.

2. Измерения скорости и направления ветра на территории подстанции

Для проверки правильности прогнозов низкой скорости ветра, может использоваться высокоточный сверхзвуковой анемометр. Это прибор, который может произвести высококачественные измерения скорости и направления ветра вплоть до 0,1 м/с. При помещении данного прибора на территории подстанции, может осуществляться более точная оценка скорости ветра в полосе отвода ЛЭП. В силу того, что в действительности вдоль ЛЭП присутствуют естественные объекты, существует погрешность между измеренным значением скорости ветра и фактическим.

3. Измерения погодных условий в полосе отвода ЛЭП

Высокоточный сверхзвуковой анемометр (рис.1), объединенный с датчиками температуры воздуха и солнечными датчиками на метеостанции, может быть помещен в полосе отвода ЛЭП, но анемометр должен быть помещен на среднюю высоту провода для более точной оценки состояния линии.



а)



б)

Рис. 1 – Традиционные пропеллерные и сверхзвуковые анемометры (а) и проводниковая модель направленного анемометра (б)

Измерить температуру воздуха и интенсивность солнечного излучения можно не только с помощью анемометра, проводниковая температура может быть измерена в разнообразных точках вдоль линии с помощью проводниковых

температурных измерителей, представленных на рис. 2. Данные устройства будут влиять на температуру провода из-за их массы, а также разрушения потока ветра вдоль провода, поэтому они требуют тщательной калибровки перед установкой.



Рис. 2 – Измеритель температуры провода

Для определения пропускной способности линии около устройства, измеренная температура преобразуется в эффективную перпендикулярную скорость ветра с помощью уравнения теплового баланса. Прямое измерение температуры провода повышает точность расчета, по сравнению с измерениями при помощи анемометра, но не гарантирует точного значения величины провеса провода при высокой температуре, поэтому некоторые измерители включают позиционные датчики [7, С.1-19].

Также существуют устройства, позволяющие измерить стрелу провеса или натяжение провода (рис. 3). Если изменение натяжения между пролетами в секции линии является маленьким, то преимущество измерителей стрелы провеса и натяжения линии состоит в том, что рассчитанная эффективная перпендикулярная скорость ветра представляет среднее значение конвекции по всей секции линии, а не просто по одиночному пролету, в котором прибор смонтирован. Если изменение натяженности от пролета к пролету в секции линии является значительным, то использование такого прибора не отражает среднюю скорость ветра вдоль секции линии, а только локальную конвекцию [8, С.1-20].

Также с помощью данного оборудования возможно определение необходимости вывода линии в ремонт или проведение текущих работ по обслуживанию линии, это значительно облегчает мониторинг на линиях и позволяет делать это без непосредственного определения данных параметров на месте.



а)



б)

Рис. 3 – Видео датчик провеса (а) и тензодатчик натяжения (б)

Точность динамической оценки пропускной способности, основанной на показаниях проводниковых измерителей стрелы провеса и натяжения линии, датчиках температуры воздуха и интенсивности солнечного излучения, зависит от линейного тока и конструкции линии. В нормальном режиме функционирования системы из-за низкого линейного тока, будет неточная оценка средней эффективной скорости ветра в секции линии, в которой он расположен. Наиболее точное определение скорости ветра возможно при большом токе нагрузки.

Приборы, работающие в режиме реального времени, могут дать более полную информацию для динамической оценки. В отличие от статической оценки, которая основывается на достаточно устойчивых погодных условиях [9, С.341-347].

Передача данных в реальном времени от точных метеоприборов, соответственно помещенных на участок контролируемой линии, может предоставить основу для вычислений оценки состояния линии, которые возможно провести без использования данных о потоке мощности в линии [10, С.2-8].

Данные методы позволяют достичь относительно незначительного уровня увеличения пропускной способности (5%-15%), но являются недорогими, могут быть использованы без потребности в разрешении надзорного органа, а также при монтаже не требуют вывода ключевых линий из эксплуатации.

Список литературы / References

1. Дьяков Ф.А. Новый подход к мониторингу гололедообразования на ВЛ 330 – 750 кВ / Дьяков Ф.А., Кононов Ю.Г. // Энергетик. – 2009. – №4. – С. 4–10.
2. Дьяков Ф.А. Эксплуатация ВЛ 330 – 500 кВ в условиях интенсивных гололедно-ветровых воздействий. Внедрение системы автоматического наблюдения за гололедом / Дьяков Ф.А. // Энергетик. – 2005. – №6. – С. 3–7.
3. Бубенчиков А.А. Применение численных методов расчета тепловых полей для вычисления потерь энергии в электрических сетях с учетом температуры проводников / А.А. Бубенчиков, С.С. Гиршин, Е.В. Петрова // Омский научный вестник, Серия 64 – 2008. – №1. – С. 84–87.
4. Working Group B2.12 Guide for Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings / Working Group B2.12 // CIGRE Technical Brochure. – 2006. – Vol. 299. – P.57.
5. IEEE 738-2012 Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors / IEEE 738-2012 // IEEE Xplore Digital Library. – 2013. – Vol.738 – P.45. doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6692858
6. Камаев В.А. Анализ методов оценки качества функционирования и эффективности систем защиты информации на предприятиях электроэнергетики / В.А. Камаев, В.В. Натров // Известия ВолгГТУ, Серия 60 – 2007. – № 1 – С. 74–76.
7. Сазонов В.Н. Эффективные инженерные решения по повышению пропускной способности ВЛ на основе применения системы мониторинга тока и температуры проводов, математического моделирования поведения элементов линий в различных режимах эксплуатации [Электронный ресурс] / Сазонов В.Н. // ООО «Тольяттинский Трансформатор». – [2013]. – С.19 – URL: <http://www.transformator.com.ru/docs/2011/doc/Эффективные%20инженерные%20решения%20.pdf>
8. Титов Д.Е. Предложение по внедрению системы мониторинга воздушных линий электропередач [Электронный ресурс] / Титов Д.Е. // ООО «Национальная технологическая инициатива». – [2016]. – С.20 – URL: http://energynet.ru/data/24_3.Экспертная%20сессия%20Ключевые%20технологии%20сети%20будущего_24_Экспертная%20сессия_Ключевые%20технологии%20сети%20будущего_Дмитрий%20ТИТОВ.pdf
9. Самарин А.В. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП / Самарин А.В., Рыгалин Д.Б., Шкляев А.А. // Естественные и технические науки. Серия 58. – 2012. – № 2. – С. 341–347.
10. Левченко И.И. Нагрузочная способность и мониторинг воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Национальный исследовательский университет "МЭИ". Электричество. – 2008. – № 4. – С. 2–8.

Список литературы на английском языке / References in English

1. D'jakov F.A. Novyj podhod k monitoringu gololedoobrazovanija na VL 330 – 750 kV [A new approach to monitoring ice formation on the 330 – 750 kV overhead transmission line] / D'jakov F.A., Kononov Ju.G. // Jenergetik [Energetik]. – 2009. – №4. – P. 4–10. [in Russian]
2. D'jakov F.A. Jekspluatacija VL 330—500 kV v uslovijah intensivnyh gololedno-vetrovyh vozdejstvij. Vnedrenie sistemy avtomaticheskogo nabljudenija za gololedom [Operation of VL 330-500 kV in conditions of intense ice-wind impacts. Implementation of the automatic monitoring system for ice] / D'jakov F.A. // Jenergetik [Energetik]. – 2005. – №6. – С. 3–7. [in Russian]
3. Bubenchikov A.A. Primenenie chislennyh metodov rascheta teplovyh polej dlya vychisleniya poter' ehnergii v ehlektricheskix setyah s uchetom temperatury provodnikov [Application of numerical methods for calculating thermal fields for calculating energy losses in electrical networks, taking into account the temperature of conductors] / A.A. Bubenchikov, S.S. Girshin, E.V. Petrova // Omskij nauchnyj vestnik, Serija 64 [Omsk Scientific Bulletin, Series 58]. – 2008. – №1. – P. 84–87. [in Russian]
4. Working Group B2.12 Guide for Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings / Working Group B2.12 // CIGRE Technical Brochure. – 2006. – Vol. 299. – P.57. doi: 10.1109/TPWRD.2014.238391
5. IEEE 738-2012 Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors / IEEE 738-2012 // IEEE Xplore Digital Library. – 2013 – Vol.738 – P.45. doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6692858
6. Kamaev V. A. Analiz metodov ocenki kachestva funkcionirovaniya i ehffektivnosti sistem zashchity informacii na predpriyatiyah ehlektroehnergetiki [Analysis of methods for assessing the quality of operation and the effectiveness of information security systems at enterprises of the electric power industry] / V.A. Kamaev, V.V. Natrov // Izvestiya VolgGTU, Serya 60[News VolgGTU, Series 60]. – 2007. – № 1 – P. 74–76. [in Russian]
7. Sazonov V.N. Ehffektivnye inzhenernye resheniya po povysheniyu propusknnoj sposobnosti VL na osnove primeneniya sistemy monitoringa toka i temperatury provodov, matematicheskogo modelirovaniya povedeniya ehlementov linij v razlichnyh rezhimakh ehkspluatatsii [Effective engineering solutions to increase the capacity of overhead lines based on the application of a current and temperature monitoring system for wires, mathematical modeling of the behavior of line elements in various operating modes] [Electronic resource] / Sazonov V.N. //ООО «Тол'яттинский Трансформатор». – [2013]. – P.19 – URL: <http://www.transformator.com.ru/docs/2011/doc/Jeffektivnye%20inzhenernye%20resheniya%20.pdf> (accessed: 12.11.2017). [in Russian]
8. Titov D.E. Predlozhenie po vnedreniyu sistemy monitoringa vozdushnyh linij ehlektroperedach [Proposal for the introduction of a monitoring system for overhead power lines][Electronic resource] / Titov D.E. // ООО «Национальная технологическая инициатива». – [2016]. – p.20 – URL: http://energynet.ru/data/24_3.Jekspertnaja%20sessija%20Kljuchevye%20tehnologii%20seti%20budushhego_24_Jekspertnaja%20sessija_Kljuchevye%20tehnologii%20seti%20budushhego_Dmitrij%20TITOV.pdf (accessed:12.11.2017). [in Russian]
9. Samarin A.V. Sovremennye tehnologii monitoringa vozdushnyh jelektrosetej LJep [Modern technologies for monitoring of power transmission lines] / A.V. Samarin, D.B. Rygalin, A.A. Shklyajev // Estestvennye i tehicheskie nauki, Serija 58 [Natural and technical sciences, Series 58]. – 2012. – № 2. – P.341–347. [in Russian]

10. Levchenko I.I. Nagruzochnaja sposobnost' i monitoring vozduzhnyh linij jelektroperedachi v jekstremal'nyh pogodnyh uslovijah [Loading Capacity and Monitoring of Overhead Power Transmission Lines Under Extreme Weather Conditions] / I.I. Levchenko, E.I. Sacuk // Jelektrichestvo [Electricity]. – 2008. – № 4. – P. 2–8. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.090>

Ощепков В.А.¹, Владимиров Л.В.², Плотников Д.И.³, Шакенов Е.Е.⁴, Мельников С.А.⁵, Паламарчук Д.В.⁶

¹ORCID: 0000-0002-2350-6130, кандидат технических наук, доцент,

²ORCID: 0000-0002-7208-0893, кандидат технических наук, доцент,

³ORCID: 0000-0002-4566-4885, студент, ⁴ORCID: 0000-0001-5086-071X, студент,

⁵ORCID: 0000-0001-9226-297X, студент, ⁶ORCID: 0000-0002-0498-2991, студент,

Омский Государственный Технический Университет.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА УРОВЕНЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ

Аннотация

В статье рассматривается влияние режима работы нейтрали распределительных электрических сетей на уровень перенапряжений, возникающих при однофазном замыкании на землю. Выполнен расчет параметров электрической сети и математическое моделирование режима однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор. Определен максимальный уровень перенапряжений на неповрежденных фазах при однофазном замыкании на землю. Доказано снижение кратности перенапряжений в сети при переходе от изолированной нейтрали к компенсации емкостных токов.

Ключевые слова: изолированная нейтраль, компенсация емкостных токов, дугогасящий реактор, однофазное замыкание на землю.

Oschepkov V.A.¹, Vladimirov L.V.², Plotnikov D.I.³, Shakenov E.E.⁴, Melnikov S.A.⁵, Palamarchuk D.V.⁶

¹ORCID: 0000-0002-2350-6130, PhD in Engineering, Associate professor,

²ORCID: 0000-0002-7208-0893, PhD in Engineering, Associate professor

³ORCID: 0000-0002-4566-4885, Student, ⁴ORCID: 0000-0001-5086-071X, Student,;

⁵ORCID: 0000-0001-9226-297X, Student, ⁶ORCID: 0000-0002-0498-2991, Student,

Omsk State Technical University.

INFLUENCE OF OPERATION MODE OF NEUTRAL OF POWER NETWORKS ON OVERVOLTAGE LEVEL AT SINGLE LINE-TO-GROUND FAULT

Abstract

The influence of the operation mode of the neutral of power network on the overvoltage level arising during single line-to-ground fault is considered in the paper. The calculation of the power network parameters and mathematical modeling of a single line-to-ground fault mode in a network with an isolated neutral and with a neutral grounded through an arc-suppression coil were performed. The maximum overvoltages level in undamaged phases with a single line-to-ground fault is determined. The reduction in the number of overvoltages in the network during the transition from isolated neutral to compensation of capacitive currents has been proven.

Keywords: isolated neutral, compensation of capacitive currents, arc-suppression coil, single line-to-ground fault.

В электрических сетях среднего класса напряжения нейтраль обычно либо изолируется, либо заземляется через дугогасящий реактор (ДГР). Сети данных классов напряжения в основном имеют большую разветвленность, то есть от шин одной подстанции может получать питание большое число отходящих присоединений, иногда это число переваливает за десяток.

Согласно статистике, значительная часть всех повреждений, возникающих в электрических сетях указанных классов напряжений, приходится на однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Для повышения уровня надежности электроснабжения потребителей электроэнергии требуется оперативное определение поврежденных участков отходящих присоединений и своевременное, по возможности с минимальным промежутком времени, устранение этих самых повреждений, поскольку ОЗЗ в сети, помимо того, что может перерасти в двухфазное или даже в трехфазное короткое замыкание, что значительно усугубит последствия, в свою очередь также может привести к значительным перенапряжениям и к возникновению различных феррорезонансных явлений.

Режим работы нейтрали определяет многие технические показатели [1, С. 123]. Прежде всего, это можно отнести к распределительным электрическим сетям при возникновении однофазного замыкания на землю. Для нейтрали с резистивным заземлением или заземлением через ДГР и изолированной нейтрали, данный режим не является аварийным, поскольку не требует быстрого действия со стороны защиты поврежденного места. Но следует брать во внимание тот факт, что, если такой режим работы окажется устойчивым, образуются нежелательные явления, несущие за собой различного рода последствия, такие как, например, несвоевременный выход из строя оборудования или же значительное снижение срока его эксплуатации.

Помимо этого, способ заземления нейтрали влияет на максимально возможную кратность перенапряжений, возникающих при, все том же, ОЗЗ. Следует помнить и о возможности возникновения резонансных и феррорезонансных воздействий, которые, как уже было отмечено выше, негативно сказываются на дорогостоящем электрооборудовании [2, С. 111].

Режим изолированной нейтрали является основным способом заземления, применяемым в странах СНГ. В этом случае нейтральная точка источника, не присоединяется к контуру общего заземления. Если брать во внимание сети,

напряжением 6-10 кВ, где обмотки силовых трансформаторов, обычно, соединяют в треугольник, то нейтральная точка и вовсе отсутствует.

Заземление нейтрали через ДГР, как правило, находит применение в разветвленных кабельных сетях промышленных предприятий. В данном случае, нейтральная точка сети появляется при условии применения специального нейтралеобразующего трансформатора (ФЗМО).

В Российской Федерации режим заземления нейтрали через ДГР применяется в основном в разветвленных кабельных сетях, при значительных емкостных токах. Кабельная изоляция, в отличие от воздушной изоляции, не является самовосстанавливающейся. Т.е. при возникновении повреждения, оно не может самоустраниться, даже несмотря на практически полную компенсацию тока в поврежденном месте. Отсюда следует, что для кабельных сетей самоликвидация ОЗЗ, как положительное свойство режима заземления нейтрали через ДГР, не имеет место быть [3, С. 198].

Моделирование переходных процессов в распределительных сетях позволяет получить представление о том, как происходит изменение тока и напряжения при различных начальных условиях. В режиме ОЗЗ в сетях с изолированной нейтралью возникает недопустимый уровень перенапряжений. Во время переходного процесса, который длится более 1 с, на высоковольтных обмотках трансформатора напряжения происходят, так называемые, бииения напряжения. Следовательно, аналогичные бииения будут наблюдаться на секциях шин подстанций и на высоковольтных обмотках трансформатора собственных нужд подстанции. В ряде случаев это может привести к негативным последствиям, таким как: ложное срабатывание защиты, необоснованное отключение цепей управления на самой подстанции [4, С. 236].

Моделирование режима ОЗЗ выполнено на примере электрической сети, схема которой представлена на рис. 1.

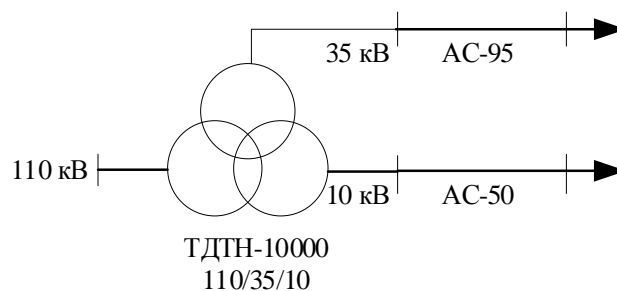


Рис. 1 – Схема электрической сети

Рассмотрим два способа заземления системы электроснабжения (СЭС), получающей питание через силовой трансформатор типа ТДТН-10000 110/35/10.

В первом случае будем считать, что нейтраль трансформатора изолирована, во втором – заземлена через ДГР плунжерного типа [5, С. 23].

Индуктивность реактора принимаем равной $L = 0.06$ Гн. Его внутреннее сопротивление $R = 10000$ Ом [6, С. 26].

Параметры силового трансформатора:

- Потери активной мощности при х.х.: $P_{xx} = 17$ кВт;
- Потери активной мощности при к.з.: $P_{кз} = 76$ кВт;
- Напряжение короткого замыкания: $u_{кз} = 10,5\%$;
- Ток х.х.: $I_{xx} = 1\%$.

Расчет был проведен на примере режима работы сети при ОЗЗ фазы «С» с последующим определением значений перенапряжений на неповрежденных фазах. Схемы замещения сетей представлены на рис. 2

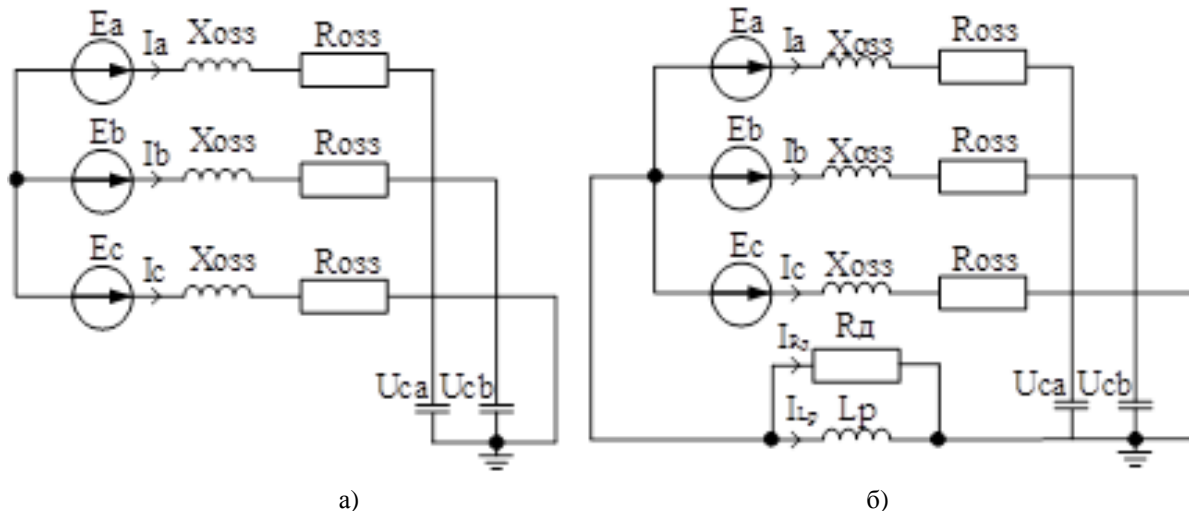


Рис. 2 – Схема замещения для сети: а – с изолированной нейтралью; б – с компенсированной нейтралью

Для начала необходимо определить следующие параметры схем замещения:

Номинальный ток силового трансформатора:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 164,957 \text{ А.}$$

Полное сопротивление при ОЗЗ:

$$Z_{O33} = \frac{u_{K3\%} \cdot U_H}{100 \cdot I_H} = \frac{10,5 \cdot 35000}{100 \cdot 164,957} = 22,3 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление при ОЗЗ:

$$R_{O33} = \frac{P_{K3}}{I_H^2 \cdot 3} = \frac{17000}{164,957^2 \cdot 3} = 0,621 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление при ОЗЗ:

$$X_{O33} = \sqrt{Z_{O33}^2 - R_{O33}^2} = \sqrt{22,3^2 - 0,621^2} = 20,291 \text{ Ом.}$$

Индуктивность при ОЗЗ:

$$L = \frac{X_{O33}}{\omega} = \frac{X_{O33}}{2\pi \cdot f} = \frac{20,291}{2\pi \cdot 50} = 0,065 \text{ Гн,}$$

где

f – частота сети, Гц [7, С. 3].

Емкость линии при ОЗЗ (в данном случае используется провод марки АС 95/16) была определена по методу зеркальных изображений [8, С. 60] и составила:

$$C = 9,293 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

Составим уравнения по законам Кирхгофа для представленных схем замещения.

Для схемы замещения сети с изолированной нейтралью:

$$\begin{cases} i_A + i_B + i_C = 0 \\ e_A = L \frac{di_A}{dt} + Ri_A + u_{CA} \\ e_B = L \frac{di_B}{dt} + Ri_B + u_{CB} \end{cases}$$

Для схемы замещения сети с компенсированной нейтралью:

$$\begin{cases} i_{R0} + i_{Lp} + i_A + i_B + i_C = 0 \\ e_A - e_B = L \frac{di_A}{dt} + R_{O33}i_A + u_{CA} - u_{CB} - R_{O33}i_B - L \frac{di_B}{dt} \\ e_B - e_C = L \frac{di_B}{dt} + R_{O33}i_B + u_{CB} - R_{O33}i_C - L \frac{di_C}{dt} \\ e_A - e_C = L \frac{di_A}{dt} + R_{O33}i_A + u_{CA} - u_{CB} - R_{O33}i_C - L \frac{di_C}{dt} \\ i_{R0}R_{\Delta} - L \frac{di_{Lp}}{dt} = 0 \end{cases}$$

После проведения математических преобразований, полученные системы уравнений были записаны в нормальной форме Коши.

Для сети с изолированной нейтралью:

$$\begin{cases} \frac{di_B}{dt} = \frac{-6R_{O33} \cdot i_B + 2u_{CA} - 4u_{CB} + 2u_{CC} - 2e_A + 4e_B - 2e_C}{6L} \\ \frac{di_C}{dt} = \frac{-3R_{O33} \cdot i_C + u_{CA} + u_{CB} - 2u_{CC} - e_A - e_B + 2e_C}{3L} \\ \frac{dU_{CA}}{dt} = \frac{(-i_B - i_C)}{C} \\ \frac{dU_{CB}}{dt} = \frac{i_B}{C} \end{cases}$$

Для сети с компенсированной нейтралью:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_B}{dt} &= \frac{-2R_{O33} \cdot i_B + u_{CA} - 2u_{CB} + 2e_B - \frac{R_{\Delta} \cdot i_R}{2}}{2L} \\ \frac{di_C}{dt} &= \frac{-3R_{O33} \cdot i_C + 3e_C + \frac{3R_{\Delta} \cdot i_R}{4}}{3L} \\ \frac{di_{Lp}}{dt} &= \frac{R_{\Delta} \cdot i_R}{4L} \\ \frac{du_{CA}}{dt} &= -\frac{i_R + i_{Lp} + i_B + i_C}{C} \\ \frac{dU_{CB}}{dt} &= \frac{i_B}{C} \end{aligned} \right.$$

Затем, данные системы дифференциальных уравнений были проинтегрированы методом Рунге-Кутты.

Полученные результаты проанализируем на основе максимальных значений возникающих перенапряжений (рис. 3) и емкостных токов (рис. 4) на фазе В.

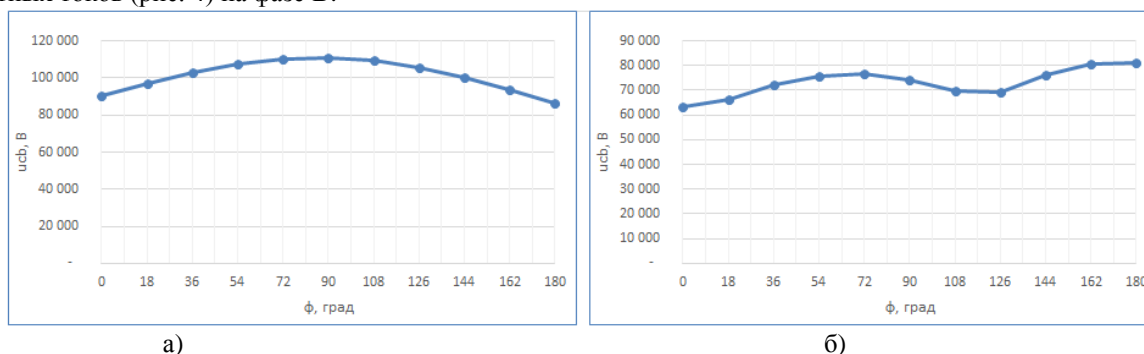


Рис. 3 – Уровень перенапряжений в сети: а – с изолированной нейтралью; б – с компенсированной нейтралью

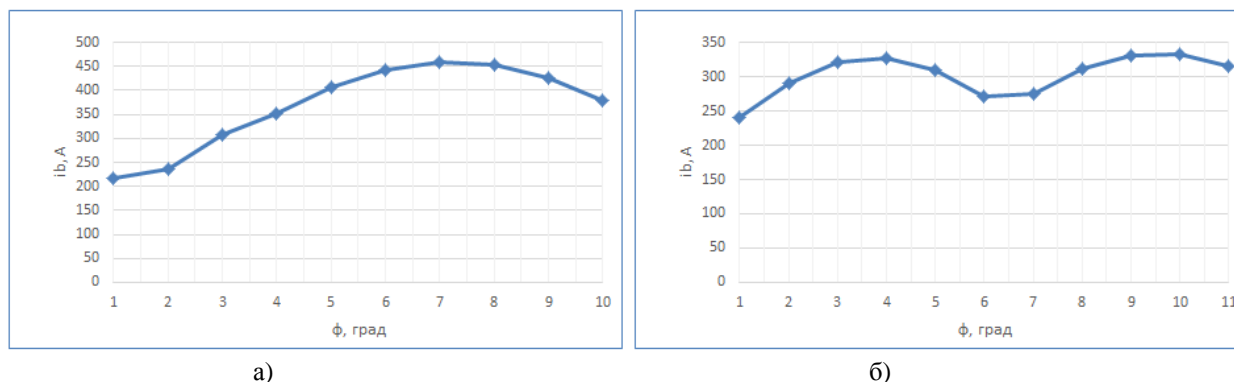


Рис. 4 – Уровень емкостных токов в сети: а – с изолированной нейтралью; б – с компенсированной нейтралью

Приведенные графические изображения доказывают зависимость уровней перенапряжений и емкостных токов от способа заземления нейтрали.

Согласно данным, полученным в результате проведенного расчета, можно сделать вывод, что уровень перенапряжений, возникающих при ОЗЗ, в сети с изолированной нейтралью оказался более высоким, по сравнению с тем, каким он получился при заземлении нейтрали через ДГР. Так, максимальное значение перенапряжений, полученное в режиме работы сети с изолированной нейтралью, составляет 110,7 кВ (5,47 U_{ϕ}), тогда как предельный уровень перенапряжений в сети с компенсированной нейтралью не превышает 81,14 кВ (4,01 U_{ϕ}).

То же касается и уровня емкостных токов, максимальное значение которых в сети с изолированной нейтралью составляет 458,681 А, а в сети с компенсированной нейтралью – 332,9 А.

В сетях высоких и сверхвысоких классов напряжений замыкание любой из фаз линии сопровождается сверхтоками и приводит к мгновенному отключению [9, С. 33]. В сетях средних классов напряжений возникновение ОЗЗ пусть и не приводит к ухудшению условий электроснабжения потребителя, но тем не менее существующий дефект требует своевременного устранения, поскольку неповрежденные фазы сети также находятся под повышенным напряжением, особенно, в случае неустойчивого дугового замыкания, когда возникающие перенапряжения длительные по времени, высокие по величине и, тем самым, негативно воздействуют на, и без того, ослабленную изоляцию [10, С. 135].

Список литературы / References

1. Бурчевский В.А. Обзор режимов заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ / В.А. Бурчевский, Л.В. Владимиров, В.А. Ощепков и др. // Омский научный вестник. Серия 77, Приборы, машины и технологии. – 2009. – № 1. – С. 122–126.

2. Вайнштейн Р.А. Режимы заземления нейтрали в электрических системах / Р.А. Вайнштейн, Н.В. Коломиец, В.В. Шестакова. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 120 с.
3. Владимиров Л.В. Моделирование режима однофазного замыкания на землю в распределительной электрической сети с изолированной нейтралью / Л.В. Владимиров, А.А. Вырва, В.А. Ощепков и др. // Омский научный вестник. Серия 107, Приборы, машины и технологии. – 2012. – № 1. – С. 197–201.
4. Никитин К.И. Токовый принцип определения повреждения присоединения и места однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью / К.И. Никитин, Л.В. Владимиров, Е.Н. Еремин и др. // Омский научный вестник. Серия 107, Приборы, машины и технологии. – 2012. – № 1. – С. 234–236.
5. Миронов И.А. Особенности применения дугогасящих реакторов / И.А. Миронов, В.А. Кричко // Новости Электротехники. Серия 43. – 2007. – № 1. – С. 21–24.
6. Gernot Druml. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Повышение точности настройки / Druml Gernot, Kugi Andreas, Parr Bodo // Новости Электротехники. Серия 43. – 2007. – № 1. – С. 25–28.
7. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014–07–01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 62 с.
8. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 11-е изд., перераб. и доп. / Л.А. Бессонов. – М.: «Гардарики», 2006. – 701 с.
9. Миронов И.А. Проблемы выбора режимов заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ / И.А. Миронов // ЭЛЕКТРО-ИНФО. Серия 46, Эксплуатация. – 2006. – №5. – С. 32–36.
10. Сирота И.М. Режимы нейтрали электрических сетей / И.М. Сирота, С.Н. Кисленко, С.Н. Михайлов. – Киев: Изд. Наукова думка, 1985. – 265 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Burchevskij V.A. Obzor rezhimov zazemlenija nejtrali v jelektricheskijh setjah 6-35 kV [The review of the modes of neutral grounding in electrical networks 6-35 kV] / V.A. Burchevskij, L.V. Vladimirov, V.A. Oshhepkov and others // Omskij nauchnyj vestnik. Serija 77, Pribory, mashiny i tehnologii [Omsk scientific Bulletin. Series 1. Appliances, machines and technology]. – 2009. – № 1. – P. 122–126. [in Russian]
2. Vajnshtejn R.A. Rezhimy zazemlenija nejtrali v jelektricheskijh sistemah [The modes of neutral grounding in electrical systems] / R.A. Vajnshtejn, N.V. Kolomic, V.V. Shestakova. – Tomsk: Izd. TPU, 2006. – 120 p. [in Russian]
3. Vladimirov L.V. Modelirovanie rezhima odnofaznogo zamykanija na zemlju v raspredelitel'noj jelektricheskoy seti s izolirovannoj nejtral'ju [Model operation of the mode of uniphase short circuit on the earth in a distributive electrical network with the isolated neutral] / L. V. Vladimirov, A. A. Vyrva, V. A. Oshhepkov and other // Omskij nauchnyj vestnik. Serija 107, Pribory, mashiny i tehnologii [Omsk scientific Bulletin. Series 107. Appliances, machines and technology]. – 2012. – № 1. – P. 197–201. [in Russian]
4. Nikitin K.I. Tokovyj princip opredelenija povrezhdenija prisoedinenija i mesta odnofaznogo zamykanija v seti s izolirovannoj nejtral'ju [The current principle of definition of damage on accession and the place of uniphase short circuit in network with the isolated neutral] / K.I. Nikitin, L.V. Vladimirov, E.N. Eremin and other // Omskij nauchnyj vestnik. Serija 107, Pribory, mashiny i tehnologii [Omsk scientific Bulletin. Series 107. Appliances, machines and technology]. – 2012. – № 1. – P. 234–236. [in Russian]
5. Mironov I.A. Osobennosti primenenija dugogasyashhih reaktorov [The features of application of arc-suppression coil] / I.A. Mironov, V.A. Krichko // Novosti Jeletrotehniki. Serija 43 [Electrical engineering news. Series 43]. – 2007. – № 1. – P. 21–24 [in Russian]
6. Gernot Druml. Dugogasyashchiye reaktory 6–35 kV. Povyshenie tochnosti nastrojki [Arc-suppression coils. The improving of adjustment accuracy] / Druml Gernot, Kugi Andreas, Parr Bodo // Novosti Jeletrotehniki. Serija 43 [Electrical engineering news. Series 43]. – 2007. – № 1. – P. 25–28 [in Russian]
7. GOST 32144-2013. Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehnikeskijh sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektricheskoy jenergii v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija. [The electrical energy. The electromagnetic compatibility of technical equipment. The standards of quality of electric energy in the systems of power supply of general purpose] – Vved. 2014–07–01. – М.: Standartinform, 2013. – 62 p. [in Russian]
8. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Jelektricheskie cepi: Uchebnik dlja jeletrotehn., jenerg., priborostroita. spec. vuzov. – 11-e izd., pererab. i dop. [Theoretical Foundations of Electrical Engineering. Electric circuits: Textbook for Electrical, Power, Instrument Engineering of Universities. – 11 th ed., Revised and Edited] / L. A. Bessonov. – М.: «Gardariki», 2006. – 701 p. [in Russian]
9. Mironov I.A. Problemy vybora rezhimov zazemlenija nejtrali v setjah 6-35 kV [Problems of the choice of the modes of grounding of a neutral in networks of 6-35 kV] / I.A. Mironov // JELEKTRO-INFO. Serija 46, Jekspluatacija [Series 46, Exploitation]. – 2006. – № 5. – P. 32–36. [in Russian]
10. Sirota I.M. Rezhimy nejtrali jelektricheskijh setej [The neutral modes of electrical networks] / I.M. Sirota, S.N. Kislenco, S.N. Mihajlov. – Киев: Izd. Naukova dumka, 1985. – 265 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.082>Пальмов С.В.¹, Жуйкова А.А.²¹Кандидат технических наук, ²Студент 1 курса, факультет «Отдел аспирантуры и магистратуры»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Самара

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ FLEXSIM В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**Аннотация**

Данная статья посвящена теме имитационного моделирования процессов, связанных со здравоохранением. Описаны актуальность и необходимость использования данного инструмента в реальном мире. В работе рассматривается одна из наиболее востребованных и многофункциональных систем моделирования - FlexSim Healthcare. Также перечислены этапы, которые позволяют в наиболее лучшем и качественном виде создавать имитационные модели тех или иных процессов. Рассмотрены и кратко описаны элементы, которые необходимы для создания данных моделей.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, здравоохранение, медицина, информационные технологии, FlexSim Healthcare.

Palmov S.V., Zhuykova A.A.

¹PhD in Engineering, ²First year student, Department of Postgraduate and Master's Studies

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics in Samara

REVIEW OF POSSIBILITIES OF FLEXSIM IMITATION MODELING SYSTEM IN HEALTHCARE**Abstract**

This paper is devoted to the simulation of processes related to human health. The topicality and necessity of the use of this tool in the real world are described. The paper considers one of the most popular and multifunctional modeling systems - FlexSim Healthcare. The stages allowing the best and most qualitative development of simulation models of one or another processes are also listed. The elements needed to develop these models are considered and briefly described.

Keywords: Simulation modeling, healthcare, medicine, information technologies, FlexSim Healthcare.

Имитационное моделирование позволяет проводить компьютерные эксперименты в различных областях человеческой деятельности, с помощью которых можно предвидеть поведение реальных объектов, систем или процессов во времени [1, С. 10], что позволяет повысить эффективность принимаемых решений [5, С. 23].

В качестве предметной области в данной работе выбрано здравоохранение. Оно является важным аспектом в жизни человека, поскольку без качественных медицинских услуг невозможно нормальное развитие общества. Глобализация процессов приобретает все большие масштабы, люди активно перемещаются между странами и континентами, что способствует быстрому распространению заболеваний, мутации вирусов, их вызывающих. Поэтому эффективность медицинского обслуживания в настоящее время важна как никогда. Оказание услуг пациенту в сфере здравоохранения зависит от руководящего органа, руководства и врачей [1, С. 104]. Как правило, все нацелено на обеспечение наилучшего ухода за пациентом при минимально возможных затратах и при соблюдении государственных правил, которые влияют на размер возмещения, получаемого организацией здравоохранения за их усилия.

Как медицина, так и информационные технологии шагнули далеко вперед. А именно, стало возможным на основе имитационной модели в виртуальной реальности «проиграть» все необходимые процессы, протекающие в медицинском учреждении, смоделировать, протестировать и проанализировать некоторые или все системы здравоохранения, чтобы предоставить ценную и точную информацию. Это не только информация о том, где находится объект, а и сведения о том, где он будет находиться. Например, это могут быть некие сложные операции или эксперимент над принципом и порядком обслуживания пациентов без нанесения вреда или ущерба реальному процессу.

Методов и средств построения такой имитационной модели достаточно количество [10, С. 1], но в данной работе будет рассмотрена система имитационного моделирования FlexSim Healthcare (FlexSim HC).

Первая версия (1.0) FlexSim HC была выпущена в июне 2009 года компанией FlexSim Software Products, Inc., и полностью поддерживала 3D-моделирование [8, С. 1].

FlexSim HC предоставляет большой набор инструментов для того, чтобы можно было построить как можно более точную имитационную модель (Рис.1). Один из таких инструментов «The Floor Plan Tool» - позволяет импортировать посредством AutoCAD макет объекта в модель. Инструмент «The Flowchart Tool» позволяет связывать объекты после их добавления в модель. «The Patient Classifications Tool» - используется для создания различных типов пациентов, которые поступят в смоделированное медицинское учреждение. Инструмент «The Patient Track Manager» используется для планирования действий, которые каждый пациент будет выполнять после прибытия в вашу имитационную модель. «The Global Processes Tool» - используется для разработки рутинных действий, которые сотрудники будут выполнять в разное время суток. «The Shift Schedule Tool» - используется для составления графиков для сотрудников или для определения часов операций в модели [2, С. 107].

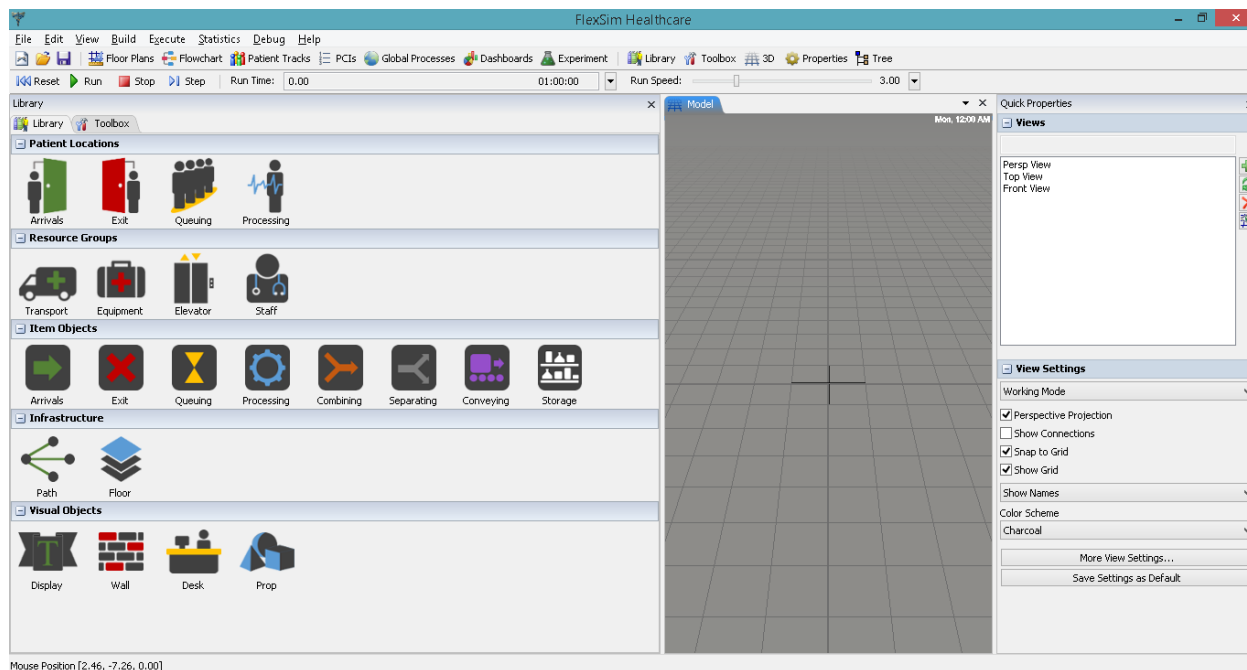


Рис. 1 – Функционал системы FlexSim HC

Важной частью построения имитационной модели является добавление в нее определенных объектов. Библиотека содержит множество объектов, которые можно использовать для создания 3D-модели [7]. Для удобства использования они разбиты на пять групп, в зависимости от того, как объекты функционируют внутри модели:

«Patient Locations» - расположение пациентов, различные объекты, с которыми пациенты будут взаимодействовать, при перемещении по имитационной модели. Местоположения останутся неподвижными в рамках модели. Местом может быть дверной проем, через который пациенты входят или выходят, стол администратора, зал ожидания и т.д.

«Resource Groups» - группы ресурсов, ассортимент объектов, с которыми пациенты будут взаимодействовать.

«Item Objects» - объекты, которые будут обрабатывать элементы. Элементы - это физические объекты, которые необходимо обрабатывать как часть лечения пациента. Элементы могут представлять собой документы или что-то, что необходимо протестировать или обработать в лаборатории, например, образцы анализов.

«Infrastructure» Инфраструктура. Объекты, которые позволяют пациенту перемещаться по всей модели.

«Visual Objects» - объекты, которые являются чисто визуальными. Они могут придать модели более реалистичный вид. Также их можно использовать для добавления в модель текста или графики.

У каждого типа объектов есть определенные параметры, которые можно настроить для улучшения работы модели [3, С. 413].

После того, как размещены все объекты моделирования, между ними необходимо установить связь, чтобы пациенты или предметы перемещались от объекта к объекту по мере необходимости.

Пациенты (Patient) являются наиболее важным элементом имитационной модели медицинского учреждения. В связи с этим, FlexSim HC ориентирован на пациента и позволяет отслеживать поступление пациентов или их выписку, статус пациента, деятельность и его движение внутри модели.

Следующий немаловажный элемент в системе - это сотрудник (Staff), некий человек, который помогает оказывать прямую или косвенную помощь пациентам в имитационной модели, например, врач, медсестра, регистратор.

Активность (Activity) - это конкретное событие или действие, которое будет происходить в определенный момент времени в имитационной модели.

Построение имитационной модели также не обойдется без ресурсов (resource). Ресурсом могут быть сотрудники, транспортные средства (например, инвалидные коляски и каталки) и медицинское оборудование. Ресурсы также могут перемещаться внутри модели. Для простоты работы в системе можно создать группу (Groups), т. е. общий набор ресурсов, например, группа под названием «Медсестры».

Разработка модели включает в себя достаточно много этапов и своих определенных тонкостей [9]. Первым шагом необходимо определить проблему, которую в дальнейшем необходимо пытаться решать, моделируя систему здравоохранения. Лучше начинать с определения проблемы в целом, а затем пытаться как можно больше сузить ее. Для решения достаточно значимой по своим масштабам проблемы лучше сосредоточиться на тех элементах, которые имеют непосредственное отношение к этой проблеме.

После того как проблема выделена, необходимо определить основную цель и некоторые подцели (если таковые имеют место) в моделировании медицинского обслуживания. Цель должна быть ясной, недвусмысленной, выполнимой и работоспособной. Должны быть определены четкие показатели для измерения, которые будут указывать на то, достигнута ли поставленная цель или нет.

Проектирование блок-схемы. В ней должны описываться различные этапы, которые будут выполняться при лечении пациента, необходимо определить, как пациенты и сотрудники будут взаимодействовать в имитационной модели. Эти мероприятия могут включать:

1. Процессы, которые пациент будет делать самостоятельно.

2. Процессы, выполняемые сотрудниками.

3. Процессы, связанные с обслуживанием пациента, но выполняемые персоналом в месте, отличном от текущего местоположения пациента (например, врач, выходящий из комнаты, чтобы проконсультироваться с медсестрой или передать рецепт).

Следующий шаг - это сбор данных и информации, он является наиболее важным для того, чтобы получившаяся имитационная модель была максимально точной. Для этого существует несколько стратегий. Прежде чем начать симуляцию медицинского обслуживания, необходимо убедиться в том, что используются правдоподобные, достоверные данные, это позволит определить, как долго будут выполняться определенные процессы в системе [4, С. 173].

Моделирование в FlexSim HC - это построение модели управления данными реальными системами здравоохранения. Объект моделирования может представлять собой больницу, клинику, аптеку или множество других систем. Имитационное моделирование позволяет произвести анализ работы системы и оптимизировать ее, прежде чем осуществлять дорогостоящие изменения в реальной системе [6, С. 251].

Так, в статье «Сравнение систем имитационного моделирования вероятностных объектов с графическим вводом структурных схем» авторы описывают и сравнивают работы разных имитационных систем, направленные на решение задачи связанной с обработкой неких продуктов [11]. В результате их анализа, система FlexSim по параметрам времени ожидания продукта в очереди, обслуживания, пребывания в систему и т.д. показывает хорошие результаты и достойно справляется с поставленной задачей. Авторы следующей работы «Имитационное 3d моделирование в среде FlexSim» говорят, что FlexSim помогает оптимизировать текущие и запланированные процессы, выявить и уменьшить отходы, снизить расходы и увеличить доходы [12]. В качестве своей модели они выбрали сортировочный центр почтовой службы. Выполнив всю работу поэтапно, авторы отмечают, что в результате построенной модели можно увидеть весь процесс работы почтовой службы. Их же авторами был сделан вывод, что данное средство имитационного моделирования позволяет глубоко рассмотреть весь производственный процесс за счет 3D имитации.

По мере разработки модели можно узнать больше о том, как работает медицинское учреждение и как его можно улучшить. Станут заметны уязвимые места модели, которые снижают качество ухода за пациентами или увеличивают затраты.

Таким образом, нами были описаны возможности многофункциональной системы FlexSim Healthcare. Мы пришли к выводу, что в тех случаях, когда невыгодно проводить какие-либо операции, эксперименты на реальной модели в силу неуверенности в их правильности или безопасности действий - целесообразно применить моделирование. А для предоставления максимальной гибкости моделирования как раз и существует имитационное моделирование. Однако сам процесс разработки подобных моделей может занять много времени, а кроме этого их труднее модифицировать, поскольку, в некоторой мере, моделирование одновременно является и искусством, и наукой. Тем не менее, как показывает практика, грамотное использование технологии имитационного моделирования позволяет значительно повысить эффективность процессов практически в любой предметной области, включая здравоохранение.

Список литературы / References

1. Куприяшкин, А.Г. Основы моделирования систем: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.
2. Якимов, И.М. Имитационное моделирование в системе Plant Simulation [Текст] / И.М. Якимов, А.П. Кирпичников, З.Х. Захарова, Д.Д. Железнякова // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20. № 2. – С. 107.
3. Кобелев, Н.Б. Имитационное моделирование [Текст] / Н.Б. Кобелев, В.В. Девятков, В.А. Половников. – М.: КУРС, Инфра-м, 2013. – 368 с.
4. Вьюненко, Л. Имитационное моделирование. Учебник и практикум [Текст] : учебное пособие для вузов / Л. Вьюненко, М. Михайлов, Т. Первозванская. – М.: Юрайт, 2016. – 284 с.
5. Катаевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении [Текст]: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Ю. Катаевский. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. — 496 с., ил.
6. FlexSim Simulation Enviroment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sci-hub.cc/https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1030490> (дата обращения 16.11.2017).
7. Visualizing simulations with FlexSim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.planettogether.com/blog/visualizing-simulations-with-flexsim> (дата обращения 16.11.2017).
8. Имитационное моделирование вероятностных объектов в системе Flexsim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/imitatsionnoe-modelirovanie-veroyatnostnyh-obektov-v-sisteme-flexsim> (дата обращения 16.11.2017).
9. Этапы разработки имитационных моделей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://info-tehnologii.ru/IMIT_MOD/Etap/index.html (дата обращения 16.11.2017).
10. Обзор существующих программных сред имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/obzor-suschestvuyushih-programmnyh-sredstv-imitatsionnogo-modelirovaniya-pri-issledovanii-mehanizmov-funktsionirovaniya-i> (дата обращения 16.11.2017).
11. Якимов, И.М. Сравнение систем имитационного моделирования вероятностных объектов с графическим вводом структурных схем [Текст] / И.М. Якимов, А.П. Кирпичников, Ю.Г. Исаева// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18. №2(3), - С. 977.
12. Имитационное 3D моделирование в среде Flexsim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2017/01/11620> (дата обращения: 04.10.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kupriyashkin, A.G. Osnovy modelirovaniya system [Fundamentals of modeling systems] :ucheb. posobiye [study letter]/ A.G. Kupriyashkin; Noril'skiy industr. in-t. [Norilsk State Industrial Institute] -Noril'sk [Norilsk]: NII, 2015. – P. 135. [in Russian]

2. Yakimov, I.M. Imitatsionnoye modelirovaniye v sisteme Plant Simulation [Simulation modeling in Plant Simulation] / I.M. Yakimov, A.P. Kirpichnikov, Z.KH. Zakharova, D.D. Zheleznyakova // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University]. - 2017. - V.20. № 2. - P. 107. [in Russian]
3. Kobelev, N.B. Imitatsionnoye modelirovaniye [Simulation modeling] / N.B. Kobelev, V.V. Devyatkov, V.A. Polovnikov. -M.: KURS, Infra-m, 2013. - 368 P. [in Russian]
4. V'yunenkov, L. Imitatsionnoye modelirovaniye. Uchebnik i praktikum: uchebnoye posobiye dlya vuzov [Simulation modeling. Textbook and training workshop: high school study letter] / L. V'yunenkov, M. Mikhaylov, T. Pervozvanskaya. - M.: Yurayt, 2016. - 284 P. [in Russian]
5. Katalevskiy, D.YU. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii [Fundamentals of simulation and system analysis in management]: uchebnoye posobiye [study letter]; 2-ye izd., Pererab. i dop. [2 ed. revised and enlarged] / D.YU. Katalevskiy. - M.: Izdatel'skiy dom «Delo» RANKhiGS, 2015. - 496 P., Il.
6. FlexSim Simulation Environment [Electronic resource] - URL: <https://sci-hub.cc/https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1030490> (acssed date 16.11.2017). [in Russian]
7. Visualizing simulations with FlexSim. [Electronic resource] - Rezhim dostupa: <https://www.planettogether.com/blog/visualizing-simulations-with-flexsim> (acssed date 16.11.2017). [in Russian]
8. Imitatsionnoye modelirovaniye veroyatnostnykh ob"yektov v sisteme Flexsim [Simulation of probabilistic objects in the system] [Electronic resource] - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/v/imitatsionnoe-modelirovanie-veroyatnostnyh-obektov-v-sisteme-flexsim> (acssed date 16.11.2017). [in Russian]
9. Etapy razrabotki imitatsionnykh modeley [Electronic resource] [Stages of simulation models development]. - Rezhim dostupa: http://info-tehnologii.ru/IMIT_MOD/Etap/index.html (acssed date 16.11.2017). [in Russian]
10. Obzornyye programmnyye sredstva imitatsionnogo modelirovaniya pri vypolnenii mekhanizmov i upravleniya proizvodstvennymi sistemami. Electronic resource] [A review of the existing software environments for simulation modeling in the study of the operation mechanisms and production systems management]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/v/obzor-suschestvuyuschih-programmnyh-sredstv-imitatsionnogo-modelirovaniya-pri-issledovanii-mekhanizmov-funktsionirovaniya-i> (acssed date 16.11.2017). [in Russian]
11. Yakimov, I.M. Comparison of simulation systems for probabilistic objects with graphical input of structural schemes / I.M. Yakimov, A.P. Kirpichnikov, Yu.G. Isaeva // Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 2016. - T.18. №2 (3), - C. 977. [in Russian]
12. Simulation 3D modeling in the Flexsim environment [Electronic resource]. - Access mode: <http://technology.snauka.ru/2017/01/11620> (acssed date: 04.10.2017). [in Russian]



All
Search keywords
SEARCH

Publications
Research Data
Projects
People
Organizations
Data Providers

*«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.*

***OpenAIRE** — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.*

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.085>

Прусов А.Ю.

ORCID: 0000-0002-3853-0416, кандидат технических наук, доцент,

Ярославский государственный технический университет,

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ**Аннотация**

Отрасль отечественного производства и эксплуатации грузозахватных приспособлений находится в жесткой зависимости от компонентной базы, привозимой из-за рубежа. При этом не всегда соблюдаются технические требования отечественных нормативных документов, а новые документы либо отсутствуют, либо опираются на аутентичные переводы европейских технических норм. В результате нарушается понятийно-терминологический аппарат соответствующей отрасли и устанавливается технологическая зависимость от ввозимой продукции импортного производства. Выходом из сложившейся зависимости является формирование новой методологии составления нормативных документов, опирающейся на возможности отечественной промышленности и на существующие международные стандарты.

Ключевые слова: грузозахватные приспособления, терминология, стропы, понятийный аппарат, стандартизация, показатели качества, социально-экономическое значение, нормативно-технические документы.

Prusov A.Yu.

ORCID: 0000-0002-3853-0416, PhD in Engineering, Associate professor,

Yaroslavl State Technical University,

STANDARDIZATION OF WEIGHT-HANDLING DEVICES, CURRENT STATE**Abstract**

The branch of domestic production and operation of weight-handling devices depends heavily on the imported components. At the same time, the technical requirements of domestic normative documents are not always followed, and either there are no appropriate documents or these documents rely on authentic translations of European technical standards. As a result, the definitions of the relevant industry are violated and one can see the technological dependence on the imported products. The possible way out of the existing dependence is the development of a new methodology for drawing up normative documents, based on the capabilities of domestic industry and on existing international standards.

Keywords: weight-handling devices, terminology, slings, definitions, standardization, quality indicators, social and economic significance, normative and technical documents.

В отрасли подъемно-транспортного оборудования существуют специальные изделия, предназначенные для крепления груза с крюком грузоподъемной машины, получившие название — грузозахватные приспособления (ГЗП). Они не используются отдельно от грузоподъемного крана, но являются съемным оборудованием, что дает возможность применять их на разных типах подъемных механизмов с разным промежутком времени эксплуатации. Эти обстоятельства влияют на позиционирование такого оборудования как совершенно самостоятельный вид продукции, имеющей свою классификацию по назначению, конструкции, отраслевому применению, грузоподъемности и т.д. ГЗП являются потенциально опасной продукцией, и, в соответствии с государственной политикой обеспечения безопасности продукции, должны иметь минимально установленные требования в виде нормативно-технических документов.

Цель данной работы состоит в определении наличия качественных нормативно-технических документов, определяющих жизненный цикл грузозахватных приспособлений и в выяснении необходимости их актуализации.

Отрасль грузоподъемных машин и механизмов всегда была под пристальным вниманием и контролем со стороны государства. Объясняется это требованием гарантированного обеспечения безопасности во время погрузо-разгрузочных работ. В 70-е и начале 80-х годов прошлого века была распространена практика издания ведомственных отраслевых стандартов, например Министерством тяжелого и транспортного машиностроения были подготовлены документы [1], [2], обеспечивающие выполнение требований безопасности стропов. На государственном уровне были приняты документы [3], [4].

Особую роль в системе государственного надзора выполнял Госгортехнадзор, ныне Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор России), который осуществлял или был инициатором нормотворческой деятельности, формируя нормативно-техническую базу для осуществления своих функций контроля, были приняты документы [5], [6], [7]. Несмотря на то, что большинство этих и других документов уже отменены, либо носят рекомендательный характер, многие производители и эксплуатирующие предприятия пользуются ими.

В настоящее время в законодательстве о безопасности технического оборудования сложилась следующая ситуация. С одной стороны, ГЗП не вошли в перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации по ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» и не требуют обязательных процедур подтверждения соответствия. С другой стороны, ГЗП используются совместно с грузоподъемными кранами, следовательно, подпадают под действие Федерального Закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» с необходимостью прохождения процедур, подтверждающих их безопасность.

Резкие изменения по ослаблению функций контроля за ГЗП произошли после принятия ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», не включающего в сферу своей подконтрольности ни стропы, ни компоненты для их производства. В то же время в пункте 12 Приложения 1 указанного регламента встречается термин «цепи грузовые», который в равной степени относится и к грузоподъемным цепям, т.е. компонентной базе для изготовления цепных стропов.

Ситуацию не прояснил и «Перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС «О безопасности машин и оборудования». В нем можно найти действующие стандарты на круглозвенные грузоподъемные цепи и на, так называемые, «стропальные цепи» [8], [9] являющиеся аутентичным переводом европейских стандартов.

Аналогичная ситуация обстоит с компонентами для производства стропов, часть которых нашла отражение в стандартах Республики Беларусь: СТБ ЕН 1677-1-2005 «Детали средств строповки. Безопасность. Часть 1. Кованые детали. Класс прочности 8» и СТБ ЕН 1677-2-2005 «Детали средств строповки. Безопасность. Часть 2. Кованые крюки с предохранительным замком, класс прочности 8», которые также приняты на основе европейских норм (ЕН).

Не подвергая сомнению требования безопасности, зафиксированные в европейских нормах, следует обратить внимание на измененный понятийно-терминологический аппарат, отличный от существующего в России, имеющего свои научные и исторические корни. Причиной такого нарушения является не само заимствование требований ЕН, а их аутентичный перевод, т.е. достоверный и соответствующий оригиналу. Нередко при проведении этой работы делается не смысловой перевод с применением существующего понятийного аппарата технического и терминологического языка, а дословный, имеющий то значение, которое заложено в оригинале. В результате этого, не учитывающего традиции русского словообразования, могут появляться новые определения. Причем появившиеся иностранные термины в русском переводе могут иметь другое общепринятое значение, что приводит к путанице и даже трансформированию общепринятых понятий.

Существование разных определений и значений одного термина (полисемия) может ввести в заблуждение и стать причиной непонимания среди специалистов разных научных школ, в нашем случае - это отечественные и иностранные исследователи. Например, в источниках [8], [9], которые являются аутентичным переводом европейских норм, дается несколько определений - «стропальная цепь», «венцовая цепь», «жгут» и т.д. Данные определения имеют соответствующие русские термины — «строп цепной», «строп кольцевой» и «ветвь стропы» соответственно, причем они так же, как и в первом случае, были ранее зафиксированы в нормативно-технических документах [3], [4], [7].

Применение на практике определений и терминов, противоречащих правилам построения русского языка, приведет к потере целого пласта результатов и исторического наследия отечественных ученых и конструкторов, работавших ранее в этой узкоспециализированной области знаний.

Уточнение понятийного аппарата и использование устоявшейся терминологии в области ГЗП имеют социальный и юридический аспекты. Первый, социальный аспект, заключается в преемственности научных знаний, в признании результатов научных трудов предшественников. Второй аспект, юридический, проявляется в формализованном отражении научных знаний в законодательных и нормативных документах и, как следствие, в возможностях отечественной промышленности технологически его обеспечить. Последний тезис крайне важен для отечественного товаропроизводителя.

Касаясь выполнения требований нормативно-технических документов, принятых на основе ЕН, следует понимать, что таким образом закладывается механизм технологического перевооружения отечественного производителя и перехода его на выпуск комплектующих для производства ГЗП европейских производителей с их типоразмерным рядом и их номенклатурной базой. Таким образом, декларируя цель достижения безопасности, происходит формирование технологической зависимости от комплектующих и запасных частей иностранного производителя. В области стандартизации ГЗП сейчас происходит именно такая ситуация. Использование импортных комплектующих на ГЗП и внедрение в обиход стандартов на них будет иметь положительный эффект для потребителя, но отрицательный для отечественных производителей, которые не готовы к их выпуску и которым еще только предстоит освоить технологию производства отдельных комплектующих.

Высказывая опасения относительно существующего метода регулирования технических требований путем косвенного введения в действие европейских норм, следует отметить, что ни российское бизнес-сообщество, ни отраслевые научные заведения не уделяют этой проблеме должного внимания. В открытых источниках информации, на сайте министерств и ведомств нельзя найти статистические данные или аналитический материал об авариях и инцидентах, произошедших при работе с грузоподъемными механизмами. Та часть информации, которая публикуется, не имеет достаточной глубины изложения материала, чтобы судить о причинах несчастных случаев, аварий или инцидентов. Такое ослабление внимания к обсуждаемой проблематике приводит к пассивности большинства потребителей.

Не менее глобальной проблемой является отсутствие требований по виду и типу, необходимости и наличию разрешительных документов на ввозимую продукцию (захваты, текстильная лента, концевые звенья и т.д.). Строительный рынок «наводнен» грузозахватными приспособлениями и компонентами для их производства неизвестного происхождения и качества. Российский потребитель стал подвергаться необоснованным рискам, связанным с вероятностью использования небезопасного оборудования со всеми вытекающими последствиями.

Решением перечисленных задач является самостоятельная разработка и формулировка конкретных технических требований на ГЗП и комплектующие производителем, исходя из своих собственных возможностей, при условии выполнения требований безопасности. Это и есть рыночный механизм временной защиты от недоброкачественной продукции. Необходимо и достаточно лишь сформулировать эти требования и оформить их в виде собственного нормативного документа. Этот путь более правильный, чем копирование чужих документов и постановка целой отрасли производства в зависимость от иностранных товаропроизводителей.

Проведенный сравнительный анализ нормативного фонда отечественных и иностранных стандартов в соответствующих областях позволил выделить четыре группы стандартов, регламентирующих вопросы безопасности, устройства и технических требований. Около 70 % всего объема иностранных анализируемых источников - стандарты, связанные с обеспечением и выполнением требований безопасности. В то время как в отечественных источниках этот показатель едва достигает 40%. Следует отметить, что косвенно вопросы безопасности решаются описанием технических условий на продукцию.

Аналогично, из этого же объема анализируемых источников, был сделан вывод о процентном распределении нормативных документов среди разных типов ГЗП. Оказалось, что наиболее полно регламентированы процедуры и вопросы, связанные с цепными стропами, около 60% от всего объема анализируемых источников. Причем, такой высокий процент у отечественных нормативных документов достигнут за счет принятия в России аутентичных переводов европейских норм. Около 25% источников раскрывают разные аспекты производства канатных стропов, и лишь оставшиеся 15% очень кратко затрагивают все оставшиеся ГЗП — текстильные стропы, захваты, комплектующие, траверсы и т.д. и т.п.

Обосновывая необходимость наличия стандартов, устанавливающих требования к грузозахватным приспособлениям, невозможно обойти вниманием вопросы практической реализации методов и механизмов контроля. Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» позволяет использовать различные процедуры подтверждения качества, от оформления декларации до лабораторных испытаний. Однако, имеющаяся идеология подтверждения соответствия продукции, вовсе не гарантирует исполнение и реализацию заложенных принципов конкретно для грузозахватных приспособлений. Причина кроется в отсутствии методик проведения испытаний грузозахватных приспособлений, лабораторной базы для их проведения и научно-обоснованных показателей качества, влияющих на безопасность использования. Только испытания на соответствие установленным параметрам, предварительное тестирование, периодические освидетельствования и другие формы и методы проверки могут предоставить полную картину функционирования технического устройства [10, С. 14].

С целью достижения современного технического уровня данной отрасли необходимо провести работу по формированию отечественной системы стандартов грузозахватных приспособлений. Это послужит основой, стимулирующей производителей к технологическому перевооружению, достигая, таким образом, еще и социально-экономические цели.

Из вышесказанного следует, что на повестку дня нужно выносить только те стандарты, эффект от применения которых однозначно превысит затраты на его исполнение. В противном случае, положительный эффект достигнут не будет. Например, можно де-юре урегулировать вопросы применения текстильных стропов, тогда как де-факто они уже давно применяются, а отечественные производители текстильной ленты пытаются производить продукцию, аналогичную импортной.

Список литературы / References

1. ОСТ 24.090.48-79 Стропы грузовые. Типы. Конструкция и размеры. - Введ. 1980-01-07.-М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по тяжелому и транспортному машиностроению, 1980.-31 с.
2. ОСТ 24.090.50-79 Стропы грузовые. Технические требования. - Введ. 1980-01-07.-М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по тяжелому и транспортному машиностроению, 1980. -25 с.
3. ГОСТ 25032-81 Средства грузозахватные. Классификация и общие технические требования.- Введ. 1983-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 4 с.
4. ГОСТ 25573-82* Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия (с Изменениями N 1, 2).- Введ. 1984-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1994. - 85 с.
5. РД-10-33-93 Стропы грузовые общего назначения. требования к устройству и безопасной эксплуатации. - М., Госгортехнадзор РФ, 1994.-39 с.
6. ПБ 10-382-00. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов./В.С.Котельников, Н.А.Шишков, В.С.Анисимов, Ю.В.Антонов, Ю.И.Гудков, В.Г.Жуков и др. - М.: ПИО ОБТ, 2001. - 268 с.,
7. РД 11-07-2007 Инструкция по проектированию, изготовлению и безопасной эксплуатации стропов грузовых. Приказ Ростехнадзора от 06.12.2007 N 830 "Об утверждении и введении в действие Инструкции по проектированию, изготовлению и безопасной эксплуатации стропов грузовых.
8. ГОСТ EN 818-1-2011. Межгосударственный стандарт. Цепи стальные из круглых коротких звеньев для подъема грузов. Безопасность. Часть 1. Общие требования к приемке. - Введ. 2011-13-12. - М.: Стандартинформ, 2014.
9. ГОСТ EN 818-4-2011. Межгосударственный стандарт. Цепи стальные из круглых коротких звеньев для подъема грузов. Безопасность. Часть 4. Стропальные цепи класса 8. - Введ. 2011-13-12. - М.: Стандартинформ, 2014.
10. Андреев А.В. Сертификация строительной техники и перспективы ее развития // Механизация строительства. - 2012. - №8 (818) - С. 14-17.

Список литературы на английском языке / References in English

1. OST 24.090.48-79 Stropy gruzovyye. Tipy. Konstruktsiya i razmery. [Cargo Slings. Types. Design and Dimensions.] - Intr. 1980-01-07.-М.: Central Research Institute of Information and Technical and Economic Research in Heavy and Transport Engineering, 1980. - 31 p. [In Russian]
2. OST 24.090.50-79 Stropy gruzovyye. Tekhnicheskiye trebovaniya [Cargo Slings. Technical Requirements.] - Intr. 1980-01-07.-М.: Central Research Institute for Information and Technical and Economic Research in Heavy and Transport Engineering, 1980. - 25 p. [In Russian]
3. GOST 25032-81 Sredstva gruzozakhvatnyye. Klassifikatsiya i obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. [Weight-lifting Devices. Classification and General Technical Requirements.] 1983-01-01. - Moscow: Publishing Standards, 1992. - 4 p. [In Russian]
4. GOST 25573-82* Stropy gruzovyye kanatnyye dlya stroitel'stva. Tekhnicheskiye usloviya (s Izmeneniyami N 1, 2) [Cargo Rope Slings for Construction. Technical Conditions] (Changes No. 1, 2). - Intr. 1984-01-01. - Moscow: Publishing Standards, 1994. - 85 p. [In Russian]
5. RD-10-33-93 Stropy gruzovyye obshchego naznacheniya. trebovaniya k ustroystvu i bezopasnoy ekspluatatsii [Cargo Slings of General Purpose. Requirements for Device and Safe Operation]. - М., Gosgortekhnadzor of the Russian Federation, 1994. - 39 p. [In Russian]

6. PB 10-382-00. Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii gruzopod"yemnykh kranov [Rules for Arrangement and Safe Operation of Lifting Cranes] / V.S. Kotelnikov, N.A. Shishkov, V.S. Anisimov, Yu.V. Antonov, Yu.I. Gudkov, V.G. Zhukov and others - M.: PIO OBT, 2001. - 268 p. [In Russian]

7. RD 11-07-2007 Instruksiya po proyektirovaniyu, izgotovleniyu i bezopasnoy ekspluatatsii stropov gruzovykh. Priказ Rostekhnadzora ot 06.12.2007 N 830 "Ob utverzhdenii i vvedenii v deystviye Instruksii po proyektirovaniyu, izgotovleniyu i bezopasnoy ekspluatatsii stropov gruzovykh. [Manual on Designing, Manufacturing and Safe Operation of Cargo Slings. Order of Rostekhnadzor from 06.12.2007 No. 830 "On approval and implementation of the Instructions for the design, manufacture and safe operation of cargo slings.] [In Russian]

8. GOST EN 818-1-2011. Mezhsudarstvennyy standart. Tsepi stal'nyye iz kruglykh korotkikh zven'yev dlya pod"yema gruzov. Bezopasnost'. Chast' 1. Obshchiye trebovaniya k priyemke. [Interstate Standard. Steel Chains of Round Short Links for Cargo Lifting. Security. Part 1. General requirements for acceptance.] - Intr. 2011-13-12. - Moscow: Standartinform, 2014. [In Russian]

9. GOST EN 818-4-2011. Mezhsudarstvennyy standart. Tsepi stal'nyye iz kruglykh korotkikh zven'yev dlya pod"yema gruzov. Bezopasnost'. Chast' 4. Stropal'nyye tsepi klassa 8. [Interstate Standard. Steel Chains of Round Short Links for Cargo Lifting. Security. Part 4. String chains of Class 8.] - Intr. 2011-13-12. - Moscow: Standartinform, 2014. [In Russian]

10. Andreev A.V. Sertifikatsiya stroitel'noy tekhniki i perspektivy yeye razvitiya [Certification of Construction Equipment and Prospects for Its Development] // Mechanization of construction. - 2012. - No. 8 (818) - P. 14-17. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.091>

Самосейко В.Ф.¹, Саушев А.В.², Тырва В.О.³, Широков Н.В.⁴, Шошмин В.А.⁵

¹Доктор технических наук, ²доктор технических наук, ³кандидат технических наук,

⁴кандидат технических наук, ⁵доктор технических наук,

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

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПРИ ПИТАНИИ ФАЗНЫХ ОБМОТОК СИНУСОИДАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ВРЕМЕНИ

Аннотация

Рассмотрены способы построения реактивных электрических машин. Предложена конструкция электрической машины с зубчатым статором и ротором, по фазным обмоткам которых протекают синусоидальные токи. Для формирования синусоидальных пульсаций индуктивностей обмоток статора предложена специальная геометрия поперечного сечения зубцов ротора, а также их аксиального скоса относительно зубцов статора. Получены выражения для номинальных значений угла нагрузки и электромагнитного момента по критерию размеров зубцовой зоны обмотки. Вычислены номинальные значения угла токовой нагрузки и электромагнитного момента при фиксированных размерах машины, заданных номинальных значениях плотности тока в катушках и магнитной индукции в зубцах статора.

Ключевые слова: реактивная электрическая машина, электромагнитный момент, угол токовой нагрузки.

Samoseyko V.F.¹, Saushev A.V.², Tyrva V.O.³, Shirokov N.V.⁴, Shoshmin V.A.⁵

¹PhD in Engineering, ²PhD in Engineering, ³PhD in Engineering, ⁴PhD in Engineering, ⁵PhD in Engineering,

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

ELECTROMAGNETIC MOMENT OF REACTIVE ELECTRIC MACHINE AT FEEDING OF PHASE WINDINGS WITH SINUSOIDAL TIME FUNCTIONS

Abstract

The ways of constructing reactive electric machines are considered. The design of the electric machine with a gear stator and rotor is proposed, with phase windings of sinusoidal currents flowing. A special geometry of the cross section of rotor teeth is proposed for the formation of sinusoidal pulsations of inductivities of stator windings, as well as their axial bevel with respect to stator teeth. Expressions are obtained for the nominal values of the load angle and the electromagnetic moment by the criterion of dimensions of the winding tooth zone. The nominal values of the angle of current load and the electromagnetic moment are calculated for the fixed machine dimensions, the nominal values of the current density in the coils and the magnetic induction in the stator teeth.

Keywords: reactive electric machine, electromagnetic moment, angle of current load.

Важнейшим элементом электропривода является электрическая машина. Наибольшее распространение в электроприводе получили синхронные и асинхронные машины переменного тока, принцип действия которых основан на пульсациях взаимных индуктивностей обмоток статора и ротора [1], [2]. В последние годы, в связи с развитием полупроводниковой преобразовательной техники, интерес представляют реактивные электрические машины, принцип действия которых основан на пульсациях собственных индуктивностей обмоток статора. Размах этих пульсаций определяет величину электромагнитного момента машины. Качество конструкции реактивной машины принято оценивать по отношению максимальной индуктивности, называемой продольной L_d , к минимальной индуктивности, называемой поперечной L_q . [3], [4].

Пульсаций индуктивностей обмоток статора можно добиться путем использования различных конструктивных решений ротора. Известны два конструктивных подхода к реализации роторов реактивных машин. Первый из них состоит в придании основанию цилиндра ротора зубчатой формы, а второй – в придании материала цилиндра ротора свойств, обуславливающих его анизотропную магнитную проводимость [5].

Машины с зубчатой формой ротора обычно используются в совокупности с сосредоточенными обмотками статора. Поэтому форма магнитопровода статора таких машин также имеет ярко выраженную зубчатую форму (Рис. 1а).

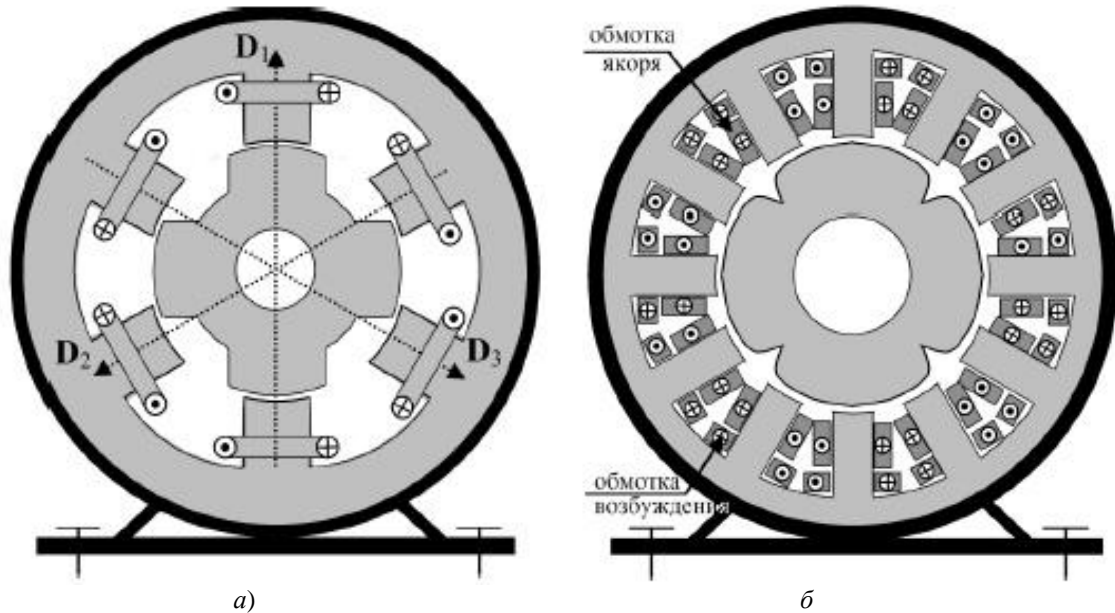


Рис. 1. – Магнитопровод реактивной 2-полюсной классической машины (а) и машины с пульсирующими по синусоидальному закону индуктивностями (б)

В настоящее время на рынок продвигаются электрические машины, которые используют импульсное питание фазных обмоток от вентильного коммутатора. Электрические машины с таким управлением в отечественной литературе обычно называются вентильно-индукторными [6], [7].

В отличие от классического подхода в статье рассматриваются реактивные электрические машины с зубчатым статором и ротором, по фазным обмоткам которых протекают синусоидальные токи.

В работах [4], [5], [8] показано, что целесообразно синтезировать конструкцию машины так, чтобы обеспечить условие постоянства электромагнитного момента, добиваясь синусоидального характера пульсаций индуктивностей фазных обмоток статора, а управление обмоткой осуществлять синусоидальными токами или синусоидальными токами с постоянной составляющей.

Машины с зубчатой формой основания цилиндра статора и ротора, которые требуют для питания токов синусоидальной формы с постоянной составляющей, будем называть индукторными. Машины, которые требуют для питания синусоидальных токов без постоянной составляющей, будем называть реактивными.

Добиться синусоидального характера пульсаций индуктивностей обмоток статора можно путем специальной геометрии поперечного сечения зубцов ротора, а также их аксиального скоса относительно зубцов статора [3]. Вид магнитопровода реактивной машины с пульсирующими по синусоидальному закону индуктивностями приведен на Рис. 1б.

Получим выражение для электромагнитного момента реактивной машины. Будем полагать, что по фазным обмоткам (катушкам) протекают синусоидальные токи

где $I_d = I_a \cos(\theta_l)$; $I_q = I_a \sin(\theta_l)$; $I_a = (I_d^2 + I_q^2)^{1/2}$ — амплитудное значение тока в обмотке; θ_l — угол токовой нагрузки;

$k=1, 2, \dots, m$ — номера обмоток в порядке следования фаз; $\rho = \varepsilon\pi/m$ — угол фазового сдвига; $\varepsilon=1$ при четном числе фаз и $\varepsilon=2$ при нечетном числе фаз.

Индуктивности фазных обмоток пульсируют также как и магнитные проводимости по синусоидальному закону $L_k(\gamma) = L_0 + L_m \cos(2\gamma + 2\rho k)$, где $\rho = \varepsilon\pi/m$; $k=1, \dots, m$ — электрические номера фазных обмоток. Кроме синусоидальной составляющей индуктивности обмоток имеют и высшие гармонические составляющие, которые обусловлены влиянием магнитопровода и геометрии воздушного зазора между статором и ротором

В m -фазных обмотках машины накапливается электромагнитная энергия, которая определяется выражением [4], [9]:

$$W(\gamma) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m i_k^2(\gamma) L_k(\gamma), \quad (1)$$

где γ — электрическая угловая координата ротора.

Электромагнитная энергия может рассматриваться как потенциальная функция геометрической угловой координаты $\Gamma = 2\gamma/Z_2$, где Z_2 — число зубцов ротора. Тогда на ротор машины будет действовать электромагнитный момент

$$M = \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left\{ W \left(\frac{Z_2 \Gamma}{2} \right) \right\} = \frac{Z_2}{2} \frac{\partial W(\gamma)}{\partial \gamma} = \frac{Z_2}{4} \sum_{k=1}^m i_k^2(\gamma) \frac{d}{d\gamma} \{ L_k(\gamma) \}. \quad (2)$$

Основная (постоянная) составляющая этого момента будет иметь вид:

$$M = \frac{Z_2}{2} L_m I_a^2 \sum_{k=1}^m \cos^2(\gamma + \rho k + \theta_l) \sin(2\gamma + 2\rho k) \quad (3)$$

где I_a — амплитуда силы тока катушки; L_m — амплитуда пульсаций индуктивности обмотки; θ_l — угол токовой нагрузки; ρ — угол фазового сдвига. При числе фаз $m > 2$ суммирование в формуле **Ошибка! Источник ссылки не найден.**3) по k дает следующее выражение основной составляющей электромагнитного момента:

$$M = \frac{mZ_2}{8} L_m I_a^2 \sin(2\theta_l) \quad (4)$$

При числе фаз $m=2$ основная составляющая электромагнитного момента является пульсирующей функцией. При любом числе фаз $m > 1$ среднее значение электромагнитного момента является постоянной величиной, определенной выражением (4). Если учесть связь токов обмотки с намагничивающей силой **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и индуктивностей обмотки с магнитной проводимостью обмотки:

$$F_a = 2w_z I_a, \quad L_m = \frac{w^2 \mu_0 \Lambda_{dd}^0 (1-k_q)}{2p}, \quad \text{где } w_z \text{ — число витков катушки, то получим:}$$

$$M = (1-k_q) \frac{Z_1 Z_2}{32} \Phi_0 F_a \cdot \sin(2\theta_l), \quad (5)$$

где w — число витков обмотки; p — число пар полюсов; $\Phi_0 = \Lambda_{dd} F_a$ — базовый магнитный поток **Ошибка!**

Источник ссылки не найден.; Λ_{dd} — продольная магнитная проводимость обмотки; Λ_{dd}^0 — удельная продольная магнитная проводимость обмотки **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; k_q — коэффициент поперечной магнитной проводимости; Z_1, Z_2 — число зубцов статора и ротора; F_a — амплитуда намагничивающей силы обмотки. При этом [4]:

$$\Lambda_{dd}^i = \frac{\Lambda_{dd}}{\mu_0 l} = \frac{\beta_s}{2\delta^*}, \quad \delta^* = \frac{\delta_0^*}{(1+k_B(\delta_0^*))} + l_{xd} \beta_s; \quad k_q = \Lambda_{qq}^0 / \Lambda_{dd}^0; \quad F_a = 2 \cdot w_z \cdot I_a,$$

где δ^* — расчетный воздушный зазор; $k_B(\delta_0^*)$ — коэффициент выпучивания магнитного потока; β_s — угловой размер зубца статора.

Получим выражение для номинальных значений угла нагрузки и электромагнитного момента по критерию размеров зубцовой зоны обмотки. Будем полагать, что размеры этой зоны Z_1 определяются суммарной площадью сечения зубцов статора S_{z1} и суммарной площадью сечения пазов статора S_0 . Пусть задано максимальное значение магнитной индукции в зубцах статора B_{z1} . Тогда базовое значение магнитного потока **Ошибка! Источник ссылки не найден.** можно записать в следующем виде:

$$\Phi_0 = \frac{B_{z1} S_{z1}}{\Phi_{z \max}^* Z_1} \quad (6)$$

где $\Phi_{z \max}^* = \Phi_{z \max}^*(\theta_l)$ — максимальное значение относительного магнитного потока через зубец статора;

$S_{z1} = \beta_s R^2 l^* \gamma_1$ — суммарная площадь сечения стали зубцов статора; $l^* = l/R$ — относительная расчетная длина магнитопровода статора и ротора; γ_1 — коэффициент заполнения пакета статора сталью.

Амплитуду намагничивающей силы обмотки в выражении (5) представим в следующем виде [10]:

$$F_a = \frac{\sqrt{2} j_m S_w}{Z_1}, \quad (7)$$

где $S_w = 2k_x h_s^* \pi (1-\gamma_s) R^2$ — суммарная площадь, занимаемая проводниками в пазах статора **Ошибка! Источник ссылки не найден.**; j_m — действующее значение плотности тока в проводниках; Z_1 — число зубцов статора;

$h_s^* = h_s/R$ — относительная высота зубцов статора; k_x — коэффициент заполнения паза медью; γ_s — скважность зубцов статора; R — внутренний радиус магнитопровода статора.

Используя соотношения **Ошибка! Источник ссылки не найден.**6) и (7), представим электромагнитный момент (5) в следующем виде:

$$M = f(\theta_l) j_m B_{z1} S_w S_{z1}. \quad (8)$$

В формуле (8) функция $f(\theta_l) = \frac{n(1-k_q) \sin(2\theta_l)}{16\sqrt{2} m \hat{\Phi}_{z \max}^*(\theta_l)}$, где n — число пар зубцов ротора на полюсное деление

статора; m — число фаз; $k_q = \Lambda_{qq}^0 / \Lambda_{dd}^0$ — коэффициент поперечной магнитной проводимости; θ_l — угол токовой нагрузки.

Вычислим номинальное значение угла токовой нагрузки. При фиксированных размерах машины, заданных номинальных значениях плотности тока в катушках и магнитной индукции в зубцах статора, функция $f(\theta_l)$ определяет с точностью до постоянного множителя зависимость электромагнитного момента в функции от угла токовой нагрузки. График функции $f(\theta_l)$ приведен на Рис. 2 номинальное значение угла токовой нагрузки принимается его значение $\theta_l \approx \arctan(\sqrt{2-k_q})$, при котором функция $f(\theta_l)$ имеет максимальное значение $C_p = f(\theta_l) \approx A_1 n(1-k_q)/17,5 m$.

Номинальное значение электромагнитного момента определяется по формуле (8) при номинальном значении угла токовой нагрузки θ_I :

$$M = C_p j_m B_{z1} S_W S_{Z1},$$

где j_m — действующее значение плотности тока в проводниках; B_{z1} — максимальное значение магнитной индукции в зубцах статора; S_W — суммарная площадь пазов; S_{Z1} — суммарная площадь сечения стали зубцов статора.

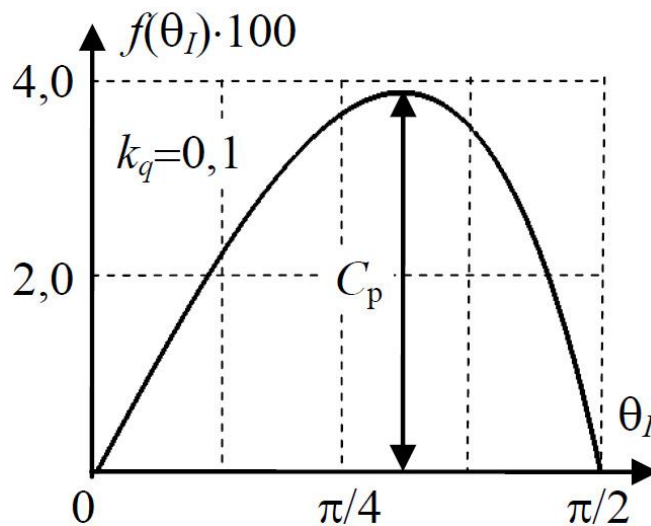


Рис. 2. — График функции $f(\theta_I)$

Полученные формулы позволяют рассчитать значения электромагнитного момента реактивной индукторной электрической машины, питаемой синусоидальными токами, а также вычислить номинальное значение угла токовой нагрузки машины. Они являются основой для проектирования реактивных электрических машин с зубчатой формой основания цилиндра статора и ротора.

Список литературы / References

1. Самосейко В. Ф. Теоретические основы управления электроприводом / В. Ф. Самосейко. — СПб.: Элмор, 2007. — 464 с.
2. Саушев А.В. Основы электромеханического преобразования энергии / А. В. Саушев. — СПб: СПГУВК, 2012. — 246 с.
3. Самосейко В.Ф. К теории индуктивных явнополюсных электрических машин / В. Ф. Самосейко // «Электричество». — 2009. — №11. — С.38 — 47.
4. Самосейко В. Ф. Реактивные электрические машины с зубчатым статором и ротором. Методика проектирования. Алгоритмы управления / В. Ф. Самосейко, Ф. А. Гельвер, В. А. Хомяк, Н. А. Лазаревский — СПб.: Изд. Крыловский государственный научный центр, 2016. — 197 с.
5. Самосейко В. Ф. Синхронная машина с анизотропной магнитной проводимостью ротора / В. Ф. Самосейко, Ф. А. Гельвер, В. А. Хомяк // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2014. — Вып. 81 (365). — С. 143 — 150.
6. Самосейко В.Ф. Реактивные электрические машины в электроприводе транспортных машин и механизмов / В. Ф. Самосейко, А. В. Саушев // Сборник докладов научно-технического семинара «Электропривод в транспорте». — М.: МЭИ, 2017. — С. 49 — 54.
7. Самосейко В.Ф. Перспективы применения реактивных электрических машин в электроприводе / В. Ф. Самосейко, А. В. Саушев // Science in the modern information society XII. Vol. 1: Proceedings of the Conference. North Charleston, 19-20.06.2017, Vol. 1—North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, P. 66 — 69.
8. Самосейко В. Ф. Анализ преимуществ реактивных электрических машин при построении гребной электрической установки / В. Ф. Самосейко, С. В. Шарашкин // Вестник ЮУрГУ. Сер. Энергетика. — 2017. — № 2. — С. 14—22.
9. Григорьев М. А. Предельные возможности электроприводов с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения и с другими типами двигателей / М. А. Григорьев // Вестник ЮУрГУ. Сер. Энергетика. — 2009. — № 12. — С. 51 — 55.
10. Chang-Chou H. Optimal Design of an SPM Motor Using Genetic Algorithms and Taguchi Method / H. Chang-Chou, L. Li-Yang, L. Cheng-Tsung, L. Ping- Lun // IEEE Trans. on Magn. 44(2008). — 2008. — № 11. — P. 4325—4328.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Samosejko V. F. Teoreticheskie osnovy upravlenija jelektroprivodom [Theoretical bases of control of the electric drive] / V.F. Samosejko. — SPb.: Jelmor, 2007. — 464 P. [in Russian]
2. Saushev A.V. Osnovy jelektromehanicheskogo preobrazovanija jenerгии [Bases of electromechanical conversion of energy] / A.V. Saushev. — SPb. SPGUVK, 2012. — 246 P. [in Russian]

3. Samosejko V. F. K teorii induktivnyh javnopoljusnyh jelektricheskikh mashin [To the theory of the inductive salient pole electrical machines] / V. F. Samosejko // Jelektrichestvo [Electricity]. – 2009. – №11. – p. 38 – 47. [in Russian]
4. Samosejko V. F. Reaktivnye jelektricheskie mashiny s zubchatym statorom i rotorom. Metodika proektirovaniya. Algoritmy upravleniya [Reluctance electrical machines with the toothed stator and a rotor. Design technique. Control algorithms] / V. F. Samosejko, F. A. Gel'ver, V. A. Homjak, N. A. Lazarevskij - SPb.: Izd. Krylovskij gosudarstvennyj nauchnyj centr [Prod. Krylov state scientific center], 2016. – 197 P [in Russian]
5. Samosejko V. F. Sinhronnaja mashina s anizotropnoj magnitnoj provodimost'ju rotora [The synchronous machine with anisotropic magnetic conductance of a rotor] / V. F. Samosejko, F. A. Gel'ver, V. A. Homjak // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra [Works of Krylov state scientific center] – 2014. – Vyp. 81 (365). – p. 143 – 150. [in Russian]
6. Samosejko V. F. Reaktivnye jelektricheskie mashiny v jelektroprivode transportnyh mashin i mehanizmov [Reluctance electrical machines in the electric drive of transport vehicles and mechanisms] / V. F. Samosejko, A. V. Saushev // Sb. dokl. nauchno-tehnicheskogo seminar "Jelektrivod v transporte" [The collection of reports of a scientific and technical seminar «The electric drive in transport»]. - M.: MEI, 2007. – p. 49 – 54. [in Russian].
7. Samosejko V. F. Perspektivy primeneniya reaktivnyh jelektricheskikh mashin v jelektroprivode [Perspectives of use of reluctance electrical machines in the electric drive] / V. F. Samosejko, A. V. Saushev / Science in the modern information society XII. Vol. 1: Proceedings of the Conference. North Charleston, 19-20.06.2017, Vol. 1–North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, p. 66 – 69.
8. Samosejko V. F. Analiz preimushhestv reaktivnyh jelektricheskikh mashin pri postroenii grebnoj jelektricheskoy ustanovki [The analysis of advantages of reluctance electrical machines at creation of the rowing electrical unit] / V. F. Samosejko, S. V. Sharashkin // Vestnik JuUrGU. Ser. Jenergetika [the Messenger of YuurGU. It is gray. Power engineering]. – 2017. – №. 2. – p. 14 – 22. [in Russian]
9. Grigor'ev M. A. Predel'nye vozmozhnosti jelektrivodov s sinhronnoj reaktivnoj mashinoy nezavisimogo vzbuzhdeniya i s drugimi tipami dvigatelej [Limit opportunities of electric drives with the synchronous reluctance machine of independent excitation and with other types of engines] / M. A. Grigor'ev // Vestnik JuUrGU. Ser. Jenergetika [the Messenger of YuurGU. It is gray. Power engineering]. – 2009. – №. 12. – p. 51 – 55. [in Russian]
10. Chang-Chou H. Optimal Design of an SPM Motor Using Genetic Algorithms and Taguchi Method / H. Chang-Chou, L. Li-Yang, L. Cheng-Tsung, L. Ping- Lun // IEEE Trans. on Magn. 44(2008). – 2008. – № 11. – P. 4325–4328.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.098>Сергеева Н.Д.¹, Токар Н.И.², Ильичёв В.А.³.¹Доктор технических наук, ²кандидат технических наук, ³кандидат технических наук,

Брянский государственный инженерно-технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУЛЬДОЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация

При строительстве и реконструкции водопропускных труб технологические процессы, характеризующиеся малообъемностью, рассредоточенностью, наличием высокой доли ручных операций и простоями техники, экономически неэффективны. Как правило, на таких объектах применяют, в основном, малопроизводительные автокраны, а также бульдозеры, одноковшовые экскаваторы и погрузчики. При этом погрузочно-разгрузочные и монтажные работы сопровождаются привлечением вспомогательного персонала и характеризуются ростом производственных издержек. Устранение вышеотмеченных недостатков находится в плоскости повышения уровня механизации, сокращения расходов на содержание парка машин путем включения в его состав и структуру многофункциональной строительно-дорожной техники.

Ключевые слова: повышение эффективности, водопропускные трубы, многофункциональность строительно-дорожной техники, бульдозеры, экскаваторно-манипуляторное оборудование.

Sergeeva N.D.¹, Tokar N.I.², Illichov V.A.³¹PhD in Engineering,²PhD in Engineering, ³PhD in Engineering,

Bryansk State Engineering and Technology University

INCREASING EFFICIENCY OF CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF WATER PIPES WITH USAGE OF BULLDOZER EQUIPMENT

Abstract

When constructing and reconstructing pipe culverts, the technological processes characterized by low capacity, dispersal, the presence of a high proportion of manual operations and downtime of equipment are economically inefficient. Typically, these facilities are used, mainly, low-performance truck cranes, as well as bulldozers, one-bucket excavators and loaders. At the same time, loading and unloading and installation work are accompanied by the involvement of support personnel and are characterized by an increase in production costs. The elimination of the aforementioned shortcomings is in the plane of increasing the level of mechanization, reducing the cost of maintaining a fleet of vehicles by including in its composition and structure a multifunctional construction and road machinery.

Key words: increasing efficiency, pipe culverts, multifunctionality of road construction equipment, bulldozers, excavator equipment.

Теоретические вопросы повышения эффективности строительства и реконструкции водопропускных труб

Строительство и реконструкция водопропускных труб в дорожном, водохозяйственном, транспортном, общегражданском строительстве и ЖКХ предусматривает выполнение достаточно большого перечня работ, требующих применения широкой номенклатуры строительной дорожной техники. Работы по строительству водопропускных труб включают подготовительные работы и монтаж конструкций. Кроме этого, при реконструкции, осуществляется демонтаж старых конструкций водопропускных труб, их погрузка и транспортировка к месту утилизации. Однако, ряд объектов, где производятся малообъемные работы, рассредоточены, что приводит к росту их себестоимости из-за издержек на доставку и простой применяемой специализированной техники. Малообъемными в строительном производстве принято называть работы на малоразмерных объектах, выполняемые одной машиной, согласно нормам выработки, в течение декады. Как правило, рост стоимости работ на таких сооружениях, воспринимается предприятиями как неизбежность. При этом экономический анализ показывает значительные издержки вследствие неэффективного использования машин, низкой производительности труда и значительной доли ручного труда. Решение вышеуказанных проблем находится в плоскости реализации потенциала гибкого и эффективного производства разнообразных, в том числе и малообъемных, рассредоточенных работ по строительству и реконструкции водопропускных труб. Это возможно на базе разработки многофункциональной строительной дорожной техники модульного типа. Положительной стороной такой техники, в отличие от универсальной, является отсутствие затрат на ее переоснащение. Поэтому авторами было предложено решение задачи создания многофункционального бульдозера с управляемым экскаваторно-манипуляторным оборудованием, который обеспечит снижение количества применяемых машин на стройплощадке, снизит издержки на их перебазировку и применение, а также повысит эффективность технологических процессов по строительству малых искусственных сооружений.

Теория расчета и проектирования рабочего оборудования машин, их применения на подготовительных, земляных работах общегражданского и дорожного строительства развита в трудах Артемьева К.А., Баловнева В.И., Домбровского Н.Г., Федорова Д.И., а в области работы с штучными, малоразмерными грузами - Баловнева В.И., Тарасова В.Н., Хмары Л.А. и др. Вопросы рационального применения техники развиты в трудах Брызгалова Р.М., Бузина Ю.М., Кудрявцева Е.М., Иванова В.Н., Сорокина П.И. и др. [8, С. 36].

Своевременностью и актуальностью проведения данного исследования является то, что в трудах вышеперечисленных авторов отсутствуют разработки применительно к обеспечению реализации потенциала гибкого и эффективного производства разнообразных, в том числе и малообъемных, рассредоточенных работ по строительству и реконструкции водопропускных труб.

Отметим также, что главным способом наращивания технологических возможностей машин было, в основном, направление на расширение их универсальности, в частности - за счет создания съемного навесного рабочего оборудования [5, С. 25]. По мнению авторов, разработка многофункциональной строительной дорожной техники модульного типа - это следующий этап развития конструкций с потенциалом гибкого и эффективного производства разнообразных работ, в том числе для рассредоточенных объектов с малообъемными работами по строительству и реконструкции водопропускных труб.

Другим достоинством применения такой техники является существующая проблема комплектования парка машин в небольших по мощности организациях и предприятиях строительной, дорожно-строительной, дорожно-эксплуатационной и мелиоративной отраслей, а также ЖКХ и др. Для решения этого вопроса необходимо уточнение методики расчета состава и структуры парка машин, с учетом годовой производственной программы предприятия, объемов работ, их номенклатуры, уровня организации производства работ, в том числе в режиме комплексной механизации, календарного графика и т.д. Существующие теоретические подходы и методы рассматривают исключительно развернутый парк машин предприятий и организаций средней и большой мощности [10, С. 93].

Как известно, организационный потенциал производственных систем определяется структурой средств производства и предметов труда, эффектом их взаимодействия при выполнении технологических процессов в строительстве. Другими словами, организационный потенциал определяется структурой и составом парка машин, методами их рациональной расстановки, уровнем технологичности [8, С. 86]. Для ныне сложившихся условий функционирования предприятий и организаций разных форм собственности, эти методы не применимы по причине изменения характера производственной деятельности, в первую очередь из-за узкой специализации, небольшой годовой загрузки, отсутствия ремонтно-сервисной службы, слабого финансового состояния и др. Так, в работах Матвеева А.В. справедливо сделан акцент на важности «гибкой» организации механизированного производства работ, с необходимостью не только принципиально нового подхода к повышению уровня технологичности машин (в основном модернизации рабочего оборудования), а также их расстановки по объектам [15, С. 101]. Поэтому требуется переход от традиционной формы подготовки производства - когда вопросы организации решались после технологической подготовки, к новой - когда выбор эффективного варианта осуществляется до начала производства работ. Однако конкретные рекомендации в трудах Матвеева А.В. даны, в основном, для производства земляных и подготовительных работ на объектах мелиоративного строительства [8, С. 98]. Необходимо также отметить, что исследований по учету издержек при производстве малообъемных работ на рассредоточенных объектах строительства и реконструкции инженерных сооружений, в том числе водопропускных труб - фактически нет. Более того, такие объекты активно «оттягивают» на себя многочисленную технику, нерационально ее используют из-за простоев, имеют низкую производительность и высокие финансовые затраты на перебазировку и применение вспомогательного производственного персонала.

Целью данного исследования является обоснование актуальности проблемы реализации потенциала гибкого и эффективного производства работ при строительстве и реконструкции водопропускных труб, в том числе рассредоточенных и малообъемных, а также разработка многофункционального оборудования модульного типа на примере бульдозерной техники.

Изучение уровня механооруженности ведущих предприятий строительной, дорожно-строительной, дорожно-эксплуатационной, мелиоративной отраслей и ЖКХ Брянской, Смоленской, Орловской областей и исследование состояния их машинных парков, позволили сделать ряд предварительных выводов. Так за период с 2013 по 2016 гг. (при росте объемов строительства в 1,2 – 1,54 раза) удельный вес малообъемных работ на 1 млн. куб. м всех работ показал интенсивный рост с 18% до 24,6 %, а производственные издержки достигают зачастую четверти общих затрат [9, С. 24]. Такое положение можно объяснить не только недостаточной технической оснащенностью строительного производства предприятий, но и нерациональным использованием имеющейся техники. Исследованиями установлены низкие значения коэффициента использования машин, характеризующего уровень их годовой загрузки на фоне интенсивного роста объема ручных операций с 12,8% до 27,6%. Например, коэффициент использования бульдозерной техники в дорожно-строительном производстве не превышает 0,54, а гидравлических экскаваторов - 0,37-0,4. Монтажные работы при строительстве и реконструкции малых искусственных сооружений выполняются, как правило, с использованием самоходных стреловых кранов пятой размерной группы (автокраны). Коэффициент их использования составляет в среднем 0,44-0,48, а при применении ковшевых фронтальных погрузчиков еще ниже [9, С. 56]. Низкие значения коэффициента использования машин объясняются их выбытием по техническому состоянию (на текущий и капитальный ремонт), простоями, частыми перебазировками, так как парк машин в большей степени состоит из физически и морально устаревшей техники. При этом, рассредоточенность объектов, малообъемность работ (подготовительных, земляных, монтажных, погрузочно-разгрузочных) затрудняют расчет и подготовку ПОС и ППР, в следствие чего их выполнение осуществляется по техническому заданию - фактически «на глазок». Все это затрудняет не только планирование и расстановку техники, но и прогнозирование технико-экономической эффективности технологических процессов, рациональную эксплуатацию машинного парка и т.д. Так же недоиспользование машин по времени и по производительности, приводит к росту производственных издержек и стоимости возведения или реконструкции объектов строительства. Поэтому проблема обновления машинных парков для выполнения трудоёмких, разнообразных, в том числе малообъемных работ (подготовительных, земляных, монтажных, погрузочно-разгрузочных и др.) на рассредоточенных объектах не только с позиций технико-технологических требований, но и технико-экономических, является практически значимой.

Одним из главных условий повышения эффективности работ является формирование компактного парка машин с целью снижения затрат на его комплектование и содержание. Это актуально как для строительных, так и для дорожно-строительных, дорожно-эксплуатационных, мостостроительных и мелиоративных организаций, предприятий транспортного строительства и, особенно, предприятий жилищно-коммунального хозяйства региона. Поэтому авторами предлагается другой подход - с позиций инновационного развития производственной инфраструктуры предприятий строительной, дорожной, мелиоративной отраслей и ЖКХ, а именно - оснащение парка машин многофункциональной техникой модульного типа, каждая из которых должна заменить от 3 до 5 специализированных машин. В рамках данного подхода необходимо также решение задачи эффективного использования такого парка. Однако в настоящее время это практически невыполнимо, так как все больше утрачивается практика разработки документации на подготовку производства работ. Таким образом, установлены две задачи, требующие своего решения:

- создание компактного парка и его оснащение прогрессивной техникой;
- внедрение в практику управления производством разработки организационно-подготовительной документации.

Идея нового подхода заключается в организации мобильного и компактного парка машин (для средней мощности предприятий дорожно-строительной, дорожно-эксплуатационной и мелиоративной отраслей, ЖКХ, небольших строительных фирм и др.) на основе внедрения не просто универсальной, а многофункциональной техники модульного типа с более широкими технологическими возможностями, когда одна машина должна заменять от 2 до 4 серийно выпускаемых машин. Такая техника будет эффективна как на крупных, масштабных объектах строительства, так и на рассредоточенных, малообъемных объектах строительства при реконструкции инженерных сооружений, в том числе водопропускных труб.

Отметим, что объёмы и количество разнообразных малообъемных работ широкого диапазона на объектах в дорожно-строительном производстве, ЖКХ, водохозяйственном и транспортном строительстве, характеризуются устойчивыми тенденциями к росту. В связи с этим, производителей работ необходимо обеспечить инструментарием для разработки и принятия эффективного управленческого решения по рациональному подбору техники (комплекса машин) на объектах строительства или реконструкции, и технологических приемов ее использования [8, С. 101]. Концепция организационно-технологического моделирования для повышения эффективности и организационно-технологической надежности производства малообъемных строительных работ предусматривает:

- уточнение методов организационно-технологической подготовки производства работ;
 - мониторинг динамики объемов производства малообъемных работ и учет всех издержек;
 - разработка ПОС и ППР, в том числе на рассредоточенные объекты с малыми объемами.
- В рамках данных требований предполагается решение следующих задач:
- сбор данных для информационно-статистического моделирования производственной деятельности с учетом вероятностного характера данных;
 - формирование вариантов близких к рациональному решению и многоэтапность структуры их реализации;
 - календарное планирование работы техники (комплекса машин) с многократным определением экстремального значения целевой функции при периодическом изменении условий и ограничений (например, при строительстве подъездных дорог для универсального экскаватора-погрузчика необходима доставка сборных элементов, сменных рабочих органов и т.д.);
 - количественный анализ (статистический, аналитический, диагностический) взаимосвязи параметров отдельных компонентов системы экскаватор-погрузчик – транспортное средство.

Критериями оптимальности при выборе решения в силу объективной значимости [10, С. 93] могут быть:

1. Минимум приведенных затрат;
2. Минимум себестоимости работ;
3. Максимум производительности;
4. Минимум трудоемкости работ;
5. Максимум прибыли [5, С. 21].

Для решения проблемы реализации технического и организационно-технологического потенциала производства малообъемных, рассредоточенных работ широкого диапазона с использованием комплексов машин, включающих бульдозеры, экскаваторы и погрузчики, краны в минимально возможные сроки, в данном случае, принят критерий минимизации себестоимости работ [7, С. 10]. Критерий оптимизации - себестоимость работ образован с использованием метода составного критерия оптимизации [3, С. 20]:

$$C_0 = K_H \sum_{i=1}^n C_{M-ч_i} \cdot \dot{C}_{M-ч_i} \cdot K + K_H'' P, \quad (1)$$

где K_H'' , K_H'' - соответственно коэффициенты накладных расходов на затраты по эксплуатации машин и на зарплату вспомогательных рабочих; $C_{M-ч_i}$ - себестоимость машино-часа i -й машины на объекте; $\dot{C}_{M-ч_i}$ - число машино-часов работы i -й машины на объекте.

Наличие проектной документации на объекты строительства и реконструкции водопропускных труб обеспечит выбор средств механизации, расстановку техники и выбор технологии ее применения, а также расчет технико-экономических показателей и календарного графика.

Следующим этапом повышения эффективности технологических процессов строительства водопропускных труб является включение в расчетную базу программного обеспечения прогрессивной техники.

Анализ теоретических исследований проектирования сменных рабочих органов и патентный поиск известных конструкций захватов для разнообразных работ, предлагаемых к применению на базе бульдозерной техники, позволяют сделать вывод о том, что основными характеристиками, определяющими их работоспособность, являются: износостойкость, прочность на смятие ножей и зубьев, и виброустойчивость. К основным выявленным недостаткам машин относятся недостаточно широкий диапазон функциональности, который не обеспечивает существенного повышения уровня технологичности, а также большие масса и металлоемкость. Для повышения эффективности производства бульдозерных работ по строительству и реконструкции водопропускных труб, необходимо создание рабочего оборудования многофункционального назначения. При определении критерия рациональности конструкции учитывалось, что данный критерий должен удовлетворять требованиям исключающим или снижающим вышеотмеченные недостатки существующих конструкций, и при этом обеспечивать более высокую экономическую эффективность.

Считаем, что наиболее рациональным способом повышения уровня технологичности, является применение многофункционального оборудования модульного типа, в котором бульдозерное оборудование совмещено с рабочим оборудованием одноковшового гидравлического экскаватора и манипулятора при условии минимизации металлоемкости конструкции, повышения уровня технологичности и обеспечения конструктивной надёжности.

Практические предложения по повышению эффективности строительства и реконструкции водопропускных труб. С целью исследования способов расширения технологических возможностей бульдозерной техники, в Брянском Государственном инженерно-технологическом университете авторами Сергеевой Н.Д., Токар Н.И., Гузенок С.А. [11, С. 3] разработан и запатентован многофункциональный бульдозер с оборудованием модульного типа (рисунок 1), с совмещением функций экскаватора - манипулятора, крана, при сохранении низкой металлоемкости конструкции, высокой производительности и надежности.

Данная конструкция обладает свойствами многофункциональности поскольку сочетает функции бульдозера и экскаватора - манипулятора, крана, способного не только выполнять подготовительные, земляные, но и погрузочно-разгрузочные и частично монтажные работы, в том числе в стеснённых условиях.

Это достигается тем, что в рабочем оборудовании гидравлического бульдозера, включающем отвал, толкающие брусья, раскос, гидроцилиндры управления отвалом, в верхней части задней стенки отвала жёстко закреплено экскаваторное оборудование – в виде двух вращающихся с помощью гидромотора кронштейнов, внутри которых шарнирно установлена стрела с рукоятью, в муфте которой установлен гидромотор, соединённый с ковшом. Подъём и опускание экскаваторного оборудования осуществляется с помощью двух гидроцилиндров, шарнирно закреплённых соответственно на кронштейнах и стреле.

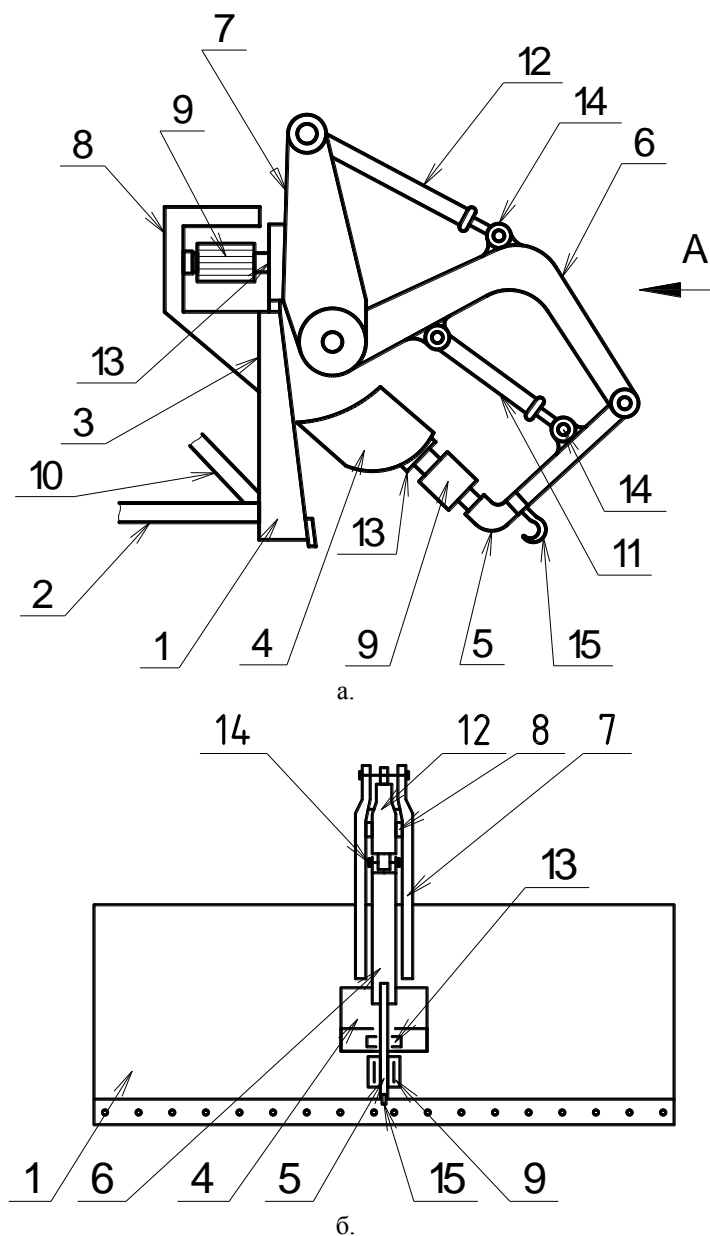


Рис. 1 – Рабочее оборудование гидравлического бульдозера: а - вид сбоку, б - вид спереди

На рисунке 1 пунктиром показано рабочее оборудование бульдозера с нижним положением экскаваторного модуля, а на рисунке 2 – в поднятом положении экскаваторного модуля при повороте кронштейнов 7.

Рабочее оборудование включает отвал 1, закреплённый на толкающих брусках 2, раскос 3, ковш 4, рукоятку 5, стрелу 6, вращающиеся кронштейны 7, жёсткие кронштейны 8, гидромоторы 9, гидроцилиндры управления соответственно отвалом 10, рукоятку 11, стрелой 12 и крюк 15. Гидромоторы соединены с рабочим оборудованием экскаваторного модуля и ковшом с помощью втулок с подшипниками 13. Подъём и опускание стрелы осуществляется с помощью гидроцилиндра управления 12, закреплённого в кронштейне 7, а его шток закреплён в проушине 14 на стреле 6. Подъём и опускание ковша с рукояткой осуществляется с помощью гидроцилиндра управления 11, закреплённого в проушинах на стреле 6, а его шток закреплён в проушине 14, установленной на рукоятке 5.

В практике производства работ по строительству и реконструкции водопропускных труб, как показали исследования, очень редко приходится сталкиваться с грузами весом более 4 тонн, что позволяет сделать вывод о целесообразности постепенной замены автокранов грузоподъемностью 6 тонн и более на другие погрузочно-разгрузочные машины. В данной конструкции многофункциональный бульдозер оборудован крановым модулем (крюком) для выполнения погрузочно-разгрузочных и частично монтажных работ. Замена автокрана позволит эффективно выполнять операции технологического процесса по строительству и реконструкции водопропускных труб, значительно снизить энергоёмкость погрузочно-разгрузочных работ, что подтверждается расчетами.

В результате значительно повышается уровень технологичности многофункционального рабочего оборудования, а именно:

- возможность захвата грузов с помощью экскаваторного модуля;
- возможность разработки котлованов и траншей модифицированным рабочим оборудованием бульдозера, при этом разработка грунта траншей глубиной до 1 метра экскаваторным оборудованием осуществляется при движении бульдозера назад с целью предотвращения копания «под себя»;

- возможность зачистки дна котлованов и траншей в стеснённых условиях при строительстве малых искусственных сооружений;
- возможность подъема грузов большой и малой длины крановым модулем;
- возможность использования при продавливании земляных сооружений обделкой, оборудованной в торцах режущими ножами;
- способность работать с грузами в горизонтальных и наклонных поверхностях с помощью кранового модуля (крюка), закреплённого на рукояти экскаватора.

Предложенное рабочее оборудование при относительно небольшом повышении металлоёмкости существенно повышает эффективность работы многофункционального бульдозера модульного типа.

Так, установка экскаваторного и кранового модулей на бульдозере ДЗ-133 позволит при строительстве и реконструкции водопропускных труб диаметром 1 метр повысить производительность в среднем на 18-20% и снизить себестоимость производства работ в среднем на 16% в сравнении с использованием на этих работах отдельных машин (экскаватора, бульдозера и крана), прежде всего за счёт исключения финансовых издержек на перебазировку машин, заработную плату двух машинистов, отсутствия издержек на простои.

Сравнивался бульдозер ДЗ-133 серийного исполнения и многофункциональный бульдозер ДЗ-133 с модулями (рисунок 2).

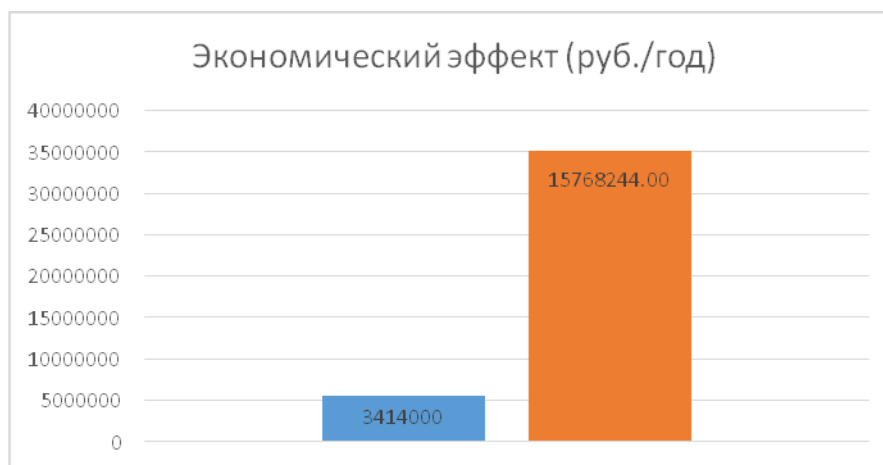


Рис. 2 – Экономический эффект от применения многофункционального бульдозера ДЗ-133 модульного типа (оранжевый прямоугольник) и серийно выпускаемых бульдозера ДЗ-133, одноковшового гидравлического экскаватора ЭО-2629 и автокрана КС-2571 (синий прямоугольник) на строительстве водопропускной трубы диаметром 1 метр

Расчет экономической эффективности применения техники базировался на оценке производительности, учета стоимости машин, заработной платы экипажа, стоимости топлива и проводился с учётом результатов компьютерного моделирования на основе Федерального сборника сметных норм и расценок на эксплуатацию строительных машин [20, С. 6-80].

Годовая эксплуатационная производительность серийно-выпускаемого бульдозера $P_c = 15570,34 \text{ м}^3/\text{ч}$

Годовая эксплуатационная производительность многофункционального бульдозера $P_m = 89\,949,14 \text{ м}^3/\text{ч}$

Стоимость бульдозера $C_m = 3414000 \text{ руб.}$

Стоимость техники (бульдозера ДЗ-133, экскаватора ЭО-2629 и автокрана КС-2571) $C_c = 15768244 \text{ руб.}$

Экономия фонда заработной платы экипажа с базовыми коэффициентами по 6 разряду и годовой загрузке техники 3000 тыс. часов.

$\Delta_{\text{зп}} = 1\,500\,000 \text{ руб./год} - 360\,000 \text{ руб./год} = 1\,140\,000 \text{ руб./год}$ (в базовых ценах 2001 года)

Таким образом, расширение технологических возможностей многофункциональной техники за счет установки несъемных модулей, позволяют на рассредоточенных объектах выполнять подготовительные, земляные, погрузочно-разгрузочные и монтажные работы, а данные рисунке 2 наглядно иллюстрируют экономический эффект.

Таким образом, при строительстве и реконструкции малых искусственных сооружений, технологические процессы, характеризующиеся малообъемностью, рассредоточенностью, наличием высокой доли ручных операций и простоями техники - экономически неэффективны. Основной машиной на таких объектах является малопроизводительные автокраны, а для выполнения других операций привлекаются бульдозеры, одноковшовые экскаваторы, погрузчики и другая техника. Считаем, что наиболее рациональным направлением повышения эффективности работ по строительству водопропускных труб является повышение уровня организационно-технологической подготовки производства (ПОС и ППР), а также изменение подходов к формированию парка техники на основе включения в его состав многофункциональной техники модульного типа, например с бульдозерным оборудованием многофункционального назначения, которое описано в статье.

Данная конструкция бульдозерного оборудования обладает свойствами многофункциональности поскольку сочетает функции бульдозера и экскаватора – манипулятора, крана и способна не только выполнять подготовительные, земляные, но и погрузочно-разгрузочные и частично монтажные работы, в том числе в стеснённых условиях. Выполненные расчеты прогнозируют значительный рост производительности за счет увеличения загрузки машины в годовом фонде, снижения издержек на перебазировку, экономию горюче-смазочных материалов и фонда заработной платы экипажа и др. Применение многофункционального бульдозера ДЗ-133 на строительстве и реконструкции водопропускных труб в г.

Брянске с укладкой звеньев железобетонных труб диаметром 1 метр позволяет повысить производительность в среднем на 18-20%, снизить себестоимость производства работ на 16% и получить прогнозную величину годового экономического эффекта в размере 127,2 тыс. рублей в базовых ценах 2001 года.

Список литературы / References

1. Артемьев К.А. Дорожные машины. Ч. 1. Машины для земляных работ / К.А. Артемьев. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1972. - 504 с.
2. Баловнев В.И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара. - М.: - Транспорт, 1983. - 384 с.
3. Брызгалова Р.М. Формирование парков и комплектов строительных машин на объектах транспортного строительства / Р.М. Брызгалова // Вестник научных конференций. - 2015. - №9-1. - С. 136-138.
4. Бузин Ю.М. Новый подход к оценке эффективности и оптимизации процесса разработки грунта землеройно-транспортной машины / Ю.М. Бузин // Изв. вузов. Строительство. 2001. - № 1. - С. 80 - 84.
5. Добровский Н.Г. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения / Н. Г. Домбровский. - М.: Машиностроение, 1969. - 319 с.
6. Кудрявцев Е.М. Теоретические основы комплексной механизации строительства / Е.М. Кудрявцев // Механизация строительства. 1996. - №5. - С. 19 - 21.
7. Канторер С.Е. Применение методов линейного программирования для оптимального распределения машина по объектам строительства // Механизация строительства. 1966. - №3. - С. 9 - 12.
8. Матвеев А.В. Интенсификации производства земляных работ при строительстве осушительных систем машинами циклического действия : дисс. докт. тех. наук : 05.08.03 : защищена 24.01.90 : утв. 12.07.90 / Матвеев Александр Васильевич. - М.: МИСИ., 1990. - 383 с.
9. Матвеев А.В. Стратегия модернизации производства малообъемных работ нулевого цикла в строительном комплексе города Брянска. Монография. /А.В. Матвеев, Н.И. Токар. - Дятьково: ООО Юла, 2015 -138 с.
10. Пермяков В.Б., Иванов В.Н. Математическая модель оптимизации структуры парка машин дорожно-строительной организации / В.Б. Пермяков, В.Н. Иванов // Изв. вузов. Строительство. - 1998. - №7. - С. 93-96.
11. Патент на изобретение № 2524791 Рабочее оборудование гидравлического бульдозера. БГИТА (авторы Сергеева Н.Д., Токар Н.И., Гузенок С.А) // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. - М.: ФГУП «Роспатент», 2014. - бюллетень №22. - 6 с.
12. Программа для выбора эффективного организационно-технологического варианта ведения строительных работ / Д.Г. Одинцов, В.Н.Иванов, И.С. Клопунов, К.В. Балушкин// Инф. л. №29-2000.- Омск: ЦНТИ, 2000.-2 с.
13. Сорокин П.И. Оптимальное использование машин на земляных работах в дорожном строительстве / П.И. Сорокин. - М.: Транспорт, 1972. - 284 с.
14. Теличенко В.И. Научно-методологические основы проектирования гибких строительных технологий : дисс. докт. тех. наук : 05.08.03 : защищена 27.05.91 : утв. 12.07.91 / Теличенко Владимир Иванович. - М.: МИСИ., 1991. - 382 с.
15. Теличенко В.И. Машины строительного производства / В.И. Теличенко, А.Г. Савельев. - М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана., 2016. - 156 с.
16. Фёдоров, Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Д.И.Фёдоров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1990 - 359 с.
17. Ямпольский Л.С. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах / Л.С. Ямпольский, М.Н. Полишук. - К.: Техника, 1987 - 147 с.
18. ГЭСН-2001-01 Сборник 1. Земляные работы / Госстрой РФ. - М.: Стройиздат, 2001 - 286 с.
19. ГЭСН-2001-27 Сборник 27. Автомобильные дороги / Госстрой РФ. - М.: Стройиздат, 2001 - 85 с.
20. ФСЭМ-2001 Федеральный сборник сметных норм и расценок на эксплуатацию строительных машин / Госстрой РФ. - М.: Росстрой, 2008 - 92 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Artemiev K.A. Dorozhnyye mashiny. CH. 1. Mashiny dlya zemlyanykh rabot [Road Machines. Part 1. Machinery for Excavation] / K.A. Artemyev. - 3rd ed. Edited and supplemented. - M.: Mechanical Engineering, 1972. - 504 p. [In Russian]
2. Balovnev V.I. Intensifikatsiya zemlyanykh rabot v dorozhnom stroitel'stve [Intensification of Excavation Works in Road Construction] / V.I. Balovnev, L.A. Khmara. - M.: - Transport, 1983. - 384 p. [In Russian]
3. Bryzgalova P.M. Formirovaniye parkov i komplektov stroitel'nykh mashin na ob'yektakh transportnogo stroitel'stva [Forming Parks and Complete Sets of Building Machines on Transport Construction Objects] / P.M. Bryzgalov // Bulletin of scientific conferences. - 2015. - No. 9-1. - P. 136-138. [In Russian]
4. Buzin Yu.M. Novyy podkhod k otsenke effektivnosti i optimizatsii protsessa razrabotki grunta zemleroyno-transportnoy mashiny [New Approach to Assessing Efficiency and Optimization of Earth-moving Machine Development Process] / Yu.M. Buzin // Bul. of universities. Building. 2001. - No. 1. - P. 80 - 84. [In Russian]
5. Dobrovsky, N.G. Ekskavatory. Obshchiye voprosy teorii, proyektirovaniya, issledovaniya i primeneniya [Excavators. General Issues of Theory, Design, Research and Application] / N.G. Dombrovsky. - M.: Mechanical Engineering, 1969. - 319 p. [In Russian]
6. Kudryavtsev E.M. Teoreticheskiye osnovy kompleksnoy mekhanizatsii stroitel'stva [Theoretical Basis of Complex Mechanization of Construction] / E.M. Kudryavtsev // Mechanization of construction. 1996. - No.5. - P. 19 - 21. [In Russian]
7. Kantorer S.E. Primeneniye metodov lineynogo programmirovaniya dlya optimal'nogo raspredeleniya mashina po ob'yektam stroitel'stva [Application of Linear Programming Methods for Optimal Distribution of Machinery for Construction Projects] // Mechanization of construction. 1966. - No. 3. - P. 9 - 12. [In Russian]
8. Matveev A.V. Intensifikatsii proizvodstva zemlyanykh rabot pri stroitel'stve osushitel'nykh sistem mashinami tsiklicheskogo deystviya [Intensification of Excavation Works During Construction of Drainage Systems by Machines of

Cyclic Action]: PhD thesis in Engineering: 05.08.03: defended on 24.01.90: app. 12.07.90 / Matveyev Alexander Vasilyevich. - M.: MISI., 1990. - 383 p. [In Russian]

9. Matveev A.V. Strategiya modernizatsii proizvodstva maloob'yomnykh rabot nulevogo tsikla v stroitel'nom komplekse goroda Bryanska. Monografiya [Strategy of Modernization of Production of Low-volume Works of Zero Cycle in Building Complex of City of Bryansk. Monograph.] / A.V. Matveev, N.I. Tokar. - Dyatkov: OOO Yula, 2015 -138 p. [In Russian]

10. Matematicheskaya model' optimizatsii struktury parka mashin dorozhno-stroitel'noy organizatsii Permyakov V.B., Ivanov V.N. [Mathematical Model of Optimization of Structure of Road-building Machines Park] / V.B. Permyakov, V.N. Ivanov // Bul. of universities. Building. - 1998. - No.7. - P. 93-96. [In Russian]

11. Patent for invention No. 2524791 Rabocheye oborudovaniye gidravlichesкого bul'dozera [Working Equipment of Hydraulic bulldozer]. BSETA (authors: Sergeeva N.D., Tokar N.I., Guzenok S.A.) // Federal Service for Intellectual Property. - M.: Federal State Unitary Enterprise "Rospatent", 2014. - Bulletin No.22. - 6 p. [In Russian]

12. Programma dlya vybora effektivnogo organizatsionno-tekhnologicheskogo varianta vedeniya stroitel'nykh rabot [Program for Selecting Effective Organizational and Technological Option for Conducting Construction Works] / D.G. Odintsov, V.N. Ivanov, I.S. Klopunov, K.V. Balushkin // Inf. sh. No.29-2000.- Omsk: TsNTI, 2000.-2 p. [In Russian]

13. Sorokin P.I. Optimal'noye ispol'zovaniye mashin na zemlyanykh rabotakh v dorozhnom stroitel'stve [Optimal Use of Machines for Excavation in Road Construction] / P.I. Sorokin. - M.: Transport, 1972. - 284 p. [In Russian]

14. V.Telichenko Nauchno-metodologicheskiye osnovy proyektirovaniya gibkikh stroitel'nykh tekhnologiy [Scientific and Methodological Foundations for Design of Flexible Building Technologies]: PhD thesis in Engineering: 05.08.03: defended on 27.05.91: app on. 12.07.91 / Telichenko Vladimir Ivanovich. - M.: MISI., 1991. - 382 p. [In Russian]

15. Telichenko V.I. Mashiny stroitel'nogo proizvodstva [Machines for Building Production] / V.I. Telichenko, A.G. Saveliev. - M.: Publ. of Bauman MSTU, 2016. - 156 p. [In Russian]

16. Fedorov D.I. Rabochiye organy zemleroynykh mashin [Workers of Excavating Machines] / D.I. Fedorov. - 2nd ed., Edited and supplemented. - M.: Mechanical Engineering, 1990 - 359 p. [In Russian]

17. Yampolsky L.S. Optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v gibkikh proizvodstvennykh sistemakh [Optimization of Technological Processes in Flexible Production Systems] / L.S. Yampolsky, M.N. Polishchuk. - K.: Technique, 1987 - 147 p. [In Russian]

18. SICES-2001-01 Sbornik 1. Zemlyanyye raboty [Collection 1. Excavation] / Gosstroy of the Russian Federation. - M.: Stroizdat, 2001 - 286 p. [In Russian]

19. SICES-2001-27 Sbornik 27. Avtomobil'nyye dorogi [Collection 27. Roads] / Gosstroy of the Russian Federation. - M.: Stroizdat, 2001 - 85 p. [In Russian]

20. FEMC-2001 Federal'nyy sbornik smetnykh norm i rastsenok na ekspluatatsiyu stroitel'nykh mashin [Federal Collection of Estimates and Quotations for Operation of Construction Machinery] / Gosstroy of the Russian Federation. - M.: Rosstroy, 2008 - 92 pp. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.096>

Субботин А.И.

¹ORCID: 0000-0002-6765-6317, кандидат технических наук,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ОСНОВАНИЙ И
ФУНДАМЕНТОВ**

Аннотация

Рассмотрена современная технология автоматизации экспериментальных исследований фундаментов на моделях с помощью программно-измерительного комплекса автоматизированной системы научных исследований, позволяющая получать оперативную информацию в реальном масштабе времени. Описана структура программно-измерительного комплекса, основные этапы формирования исходных данных с момента градуировки используемых тензоизмерительных датчиков и схемы проведения эксперимента на модели фундаментов, до расшифровки полученных в результате экспериментальных исследований данных. Представлены примеры графического представления результатов исследований в виде изолиний напряжений в основании модели фундамента.

Ключевые слова: эксперимент, модель фундамента, тензометрический датчик, измерительное оборудование, напряжения, деформации.

Subbotin A.I.

¹ORCID: 0000-0002-6765-6317, PhD in Engineering,

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),

AUTOMATION OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF BASEMENTS AND FOUNDATIONS OPERATION

Abstract

The modern technology of automation of experimental studies of foundations on models with the help of a software-measuring complex of the automated scientific research system is considered, which makes it possible to obtain real-time operational information. The structure of the program-measuring complex, the main stages of the formation of the initial data from the moment of grading of the used strain gauges, the scheme of carrying out the experiment on the foundation model, before deciphering the data obtained as a result of the experimental studies, are described. Examples of a graphical representation of research results in the form of stress isolines in the basement of the foundation model are presented.

Keywords: experiment, foundation model, strain gauge, measuring equipment, stress, deformations.

Результаты теоретических исследований, гипотезы и теории нуждаются в особой проверке, которая возможна при проведении экспериментальных исследований. Особое место в геотехнике и фундаментостроении, даже в условиях современного развития численного моделирования, занимают экспериментальные исследования. Экспериментальные исследования, несмотря на трудоемкость и затратность способов изучения поведения грунтов оснований и фундаментов, остаются самыми достоверными.

Проведение экспериментальных исследований всегда имело приоритетный характер при рассмотрении поведения оснований фундаментов, так как преследуют несколько целей. Главной целью таких исследований является создание на модели реальной картины взаимодействия сооружения и грунтового массива. После этого можно говорить, что полученные данные в результате эксперимента о напряженно-деформированном состоянии (НДС) основания, являются отражением процессов, протекающих в основании сооружения.

Техника экспериментальных исследований сложна еще и тем, что она производится или на натурном объекте, или на модели. В любом случае, получение какой-либо информации связано с большими затратами по устройству объекта или изготовлению модели, применением дорогостоящих приборов и материалов, выбором технологии и средства проведения и обработки результатов эксперимента. Напряжения и деформации, возникающие в основании фундаментов, это сложный физико-механический процесс, исследование которого является источником получения достоверной информации о поведении основания под нагрузкой. Именно поэтому результаты экспериментальных исследований так скрупулезно изучаются исследователями, так как являются ценнейшим банком данных.

Необходимость получения информации о поведении грунтов основания фундаментов в различных геологических условиях повлекла за собой дальнейшее развитие и совершенствование методики и техники экспериментальных исследований, привлечение современной информационной поддержки.

Информационное моделирование работы грунтов оснований фундаментов при проведении экспериментальных исследований позволяет разработать четкую концепцию и устранить неопределенности при подготовке эксперимента, наполнить банк исходными данными и систематизировать этапы проведения эксперимента.

Впервые методология информационного моделирования как совокупность методов моделирования, отражающих свойства объекта в целях реализации задач исследования, проектирования, возведения и функционирования объекта предложена Ю.Н. Мурзенко [1]. Им широко и полно были раскрыты все аспекты информационного моделирования [2]. В работе отмечалось, что отражение свойств реального объекта несколькими методами моделирования является способом снятия неопределенности в оценке его свойств, что обеспечивает увеличение количества и улучшение качества информации. Общим результатом является более полная мера соответствия свойств модели и свойств реального объекта.

Многочисленные экспериментальные исследования, проведенные на кафедре «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» ЮРГТУ(НПИ), подчинялись определенной методике проведения эксперимента в зависимости от типа моделируемого фундамента [2-8]. Она объединила законы и принципы моделирования и позволяла изучить закономерности изменения НДС основания и моделей фундаментов в процессе нагружения от малых до предельных по прочности основания нагрузок. Экспериментальные исследования проводились на моделях фундаментов с использованием уникальных приборов дистанционного измерения, защищенных авторскими свидетельствами и патентами. Эксперименты проводились в лаборатории «оснований и фундаментов» кафедры ПГСГиФ на испытательной машине МФ-1 конструкции Ю.Н. Мурзенко.

С целью развития накопленного опыта в автоматизации экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния конструкций и грунтовых оснований электротензорезистивным методом [9] и наработанных систем информационного обеспечения проведения опытов [10] разработана программа «Система обработки тензометрических измерений» («СОТИ») (рис.1). Программный продукт внедрен в лаборатории ЮРГТУ(НПИ) кафедры ПГСГиФ.

Методика исследований предусматривает использование вторичной измерительной техники и различных тензометрических датчиков для изучения необходимых параметров НДС конструкций или их систем. В лабораторных условиях помимо тензометрического оборудования, необходимы модели изучаемых конструкций и основания, нагрузочное устройство, градуировочное оборудование для датчиков и устройство сопряжения тензометрического оборудования с компьютером.

СОТИ (Система обработки тензометрических измерений) позволяет объединить все элементы лаборатории и этапы эксперимента, и дает возможность проведения экспериментов в реальном масштабе времени с автоматизированным анализом результатов.

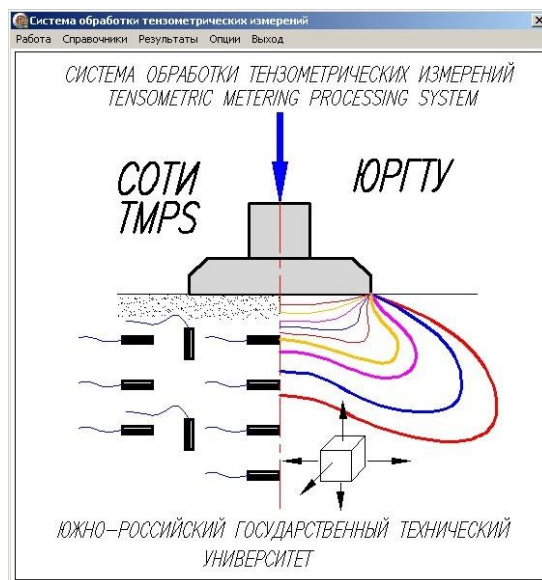


Рис. 1 – Интерфейс программы «СОТИ»

Методика экспериментальных исследований с использованием Системы обработки тензометрических измерений включает следующие этапы:

1. Создание базы приборов.
2. Тарировка приборов.
3. Создание схемы эксперимента.
4. Проведение эксперимента.
5. Анализ результатов.
6. Документирование и создание отчета.

На первом этапе экспериментальных исследований необходимо создать базу приборов, в которую должно входить все первичное тензометрическое измерительное оборудование, используемое в эксперименте. Для этого в программе имеется справочник приборов, в который вносят номера датчиков, указывают их основные характеристики, тип и модель. Таким образом, все первичное оборудование классифицируется.

Следующим этапом является тарировка датчиков. Программа позволяет вести одновременную тарировку пяти приборов.

Окно тарировки содержит основные характеристики прибора, согласно номенклатуре, занесенной в справочнике приборов, а по окончании тарировки результаты в табличном и графическом виде (рис. 2).

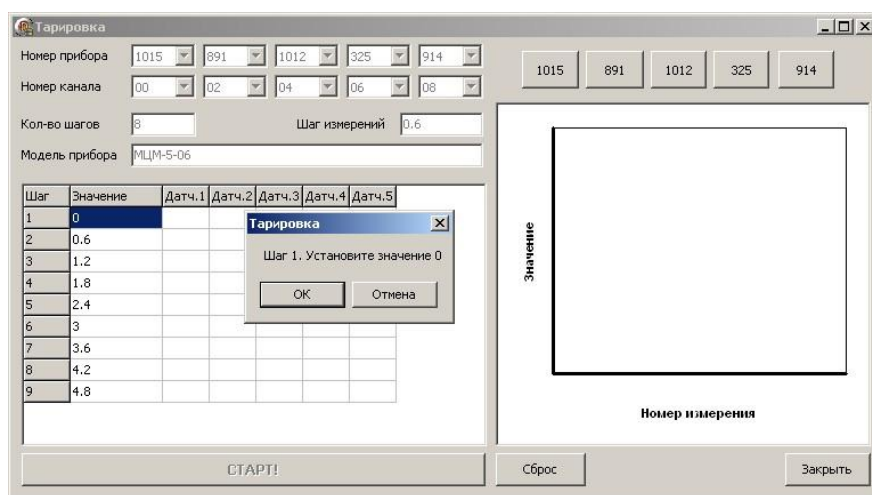


Рис. 2 – Окно «Тарировка»

Данные по тарировке датчиков необходимы для расшифровки и анализа результатов измерений, полученных при эксперименте.

Следующий этап – создание схемы эксперимента, предполагает подготовку схемы расположения датчиков, создание списка используемых в данном эксперименте датчиков, указание положения сечений по которым будут строиться эпюры и изополя при анализе результатов эксперимента (рис. 3).

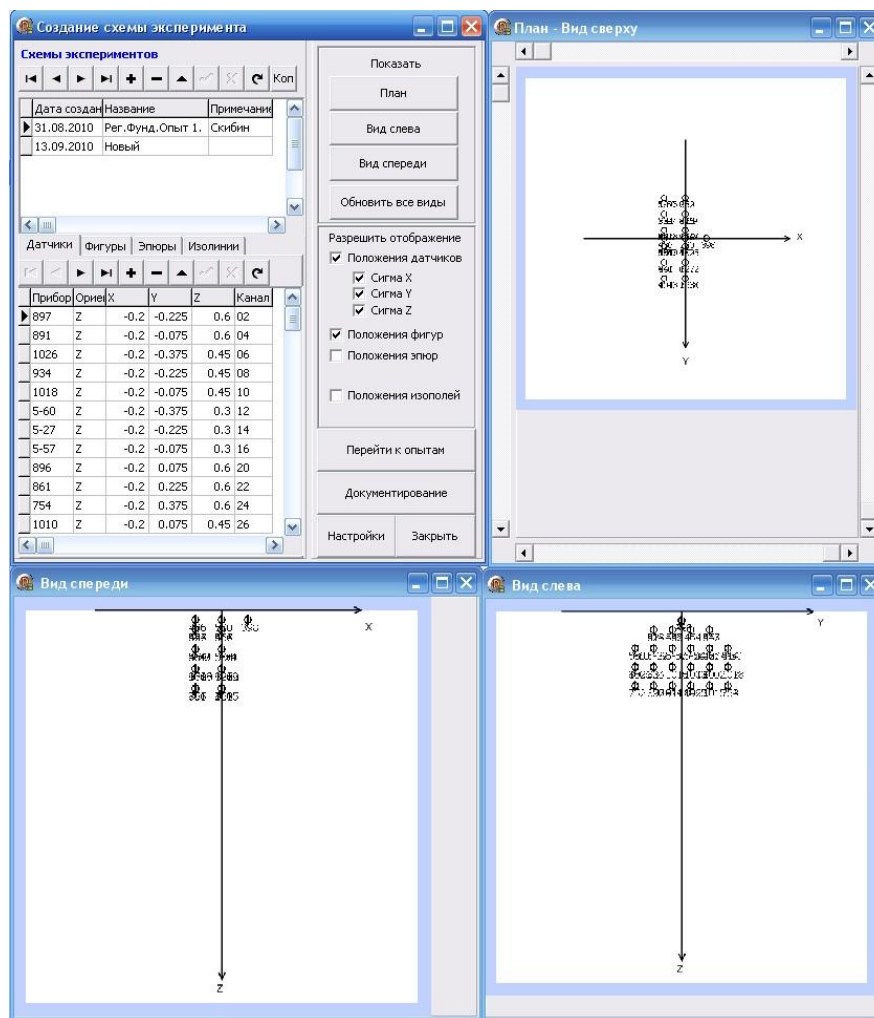


Рис. 3 – Окно «Создание схемы эксперимента»

Окно «Создание схемы эксперимента» содержит 5 основных полей: схема эксперимента, компоненты схемы, панель управления визуализацией и панель управления и перехода в режим проведения эксперимента, документирования.

После создания схемы эксперимента необходимо подготовить все оборудование к проведению эксперимента. Установить датчики согласно схемам эксперимента, установить модель фундамента, привести нагружающие устройства в рабочее положение, установить другое измерительное оборудование (прогибомеры, мессуры) (рис. 4).

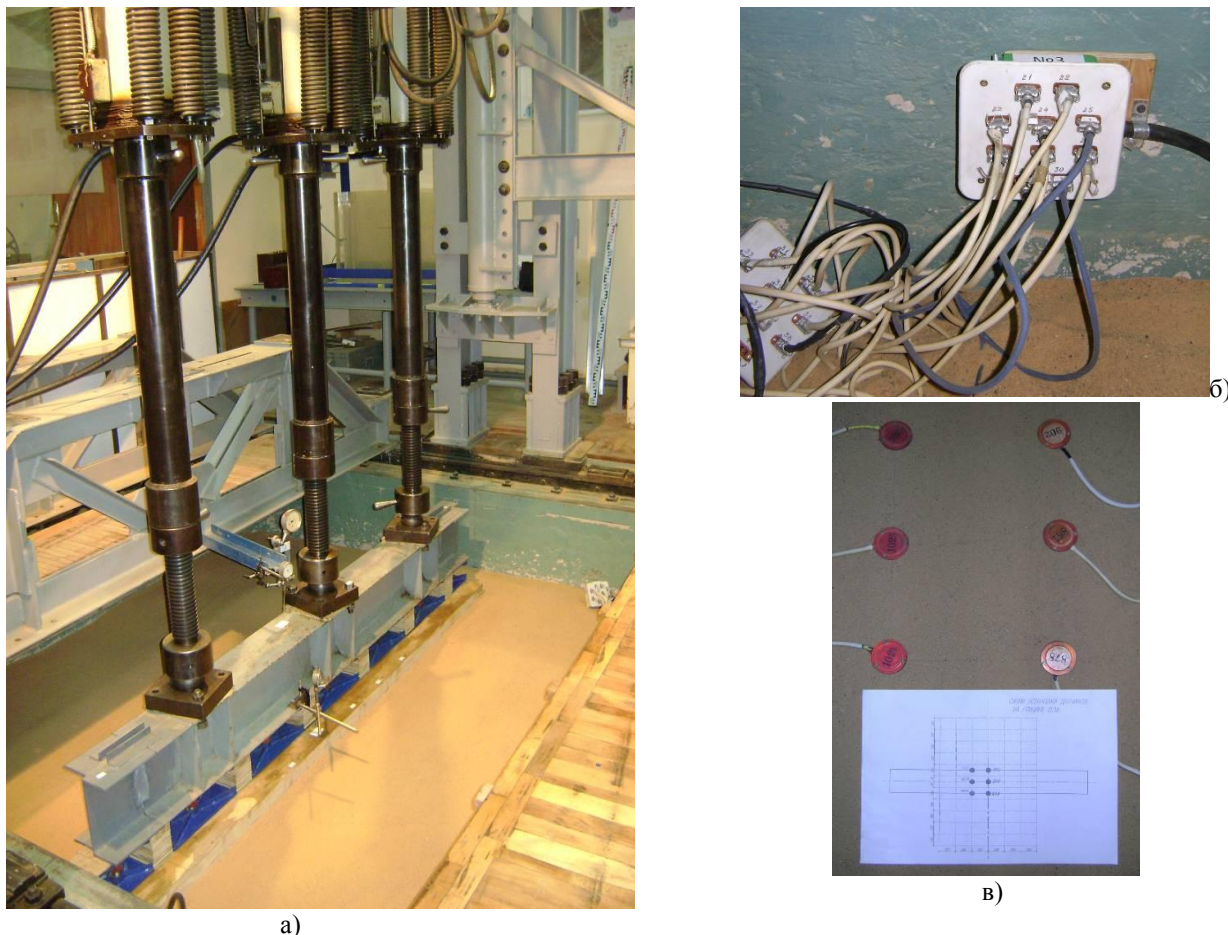


Рис. 4 – Подготовка эксперимента: а) установка модели; б) подключение датчиков; в) установка датчиков

Проведение экспериментальных исследований выполняется на следующем этапе программного комплекса с помощью соответствующего окна (рис. 5). Окно "Проведение эксперимента" содержит протокол измерений на каждом этапе исследований (этапе нагружения) и общий протокол измерений, который заполняется для каждого этапа. Данные этапы фиксируются с заданными параметрами: усилия, времени проведения и названия.

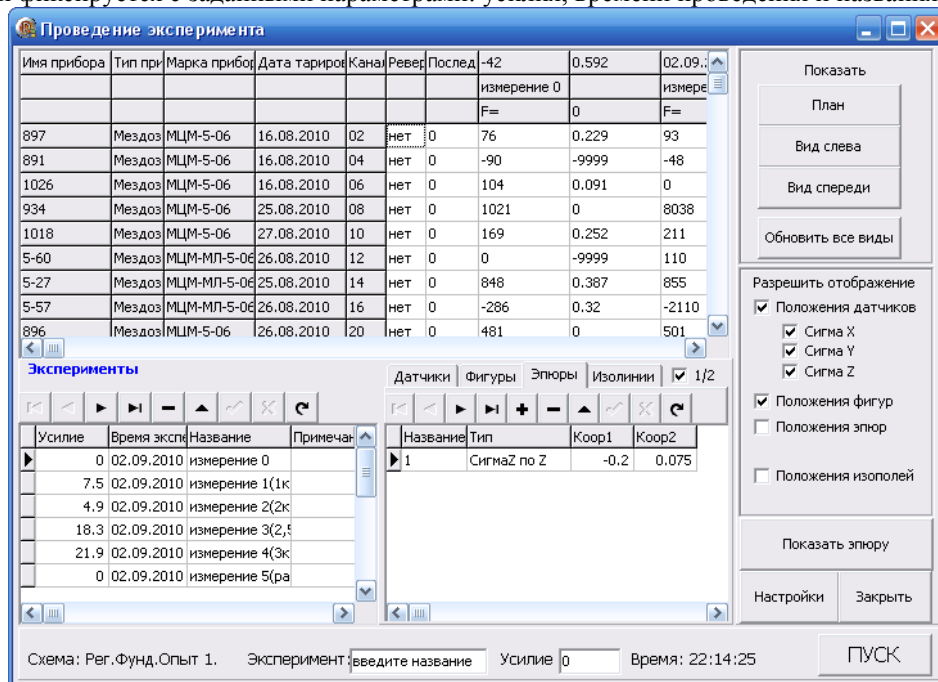


Рис. 5 – Окно «Проведение эксперимента»

Анализ результатов производится в соответствующей вкладке, запускаемой из подменю «Работа». Окно анализа результатов (рис. 6) содержит результаты измерений и обработки данных измерений, информацию по приборам, используемых в рассматриваемом эксперименте, и графические окна для вывода эпюр и изолиний (план, вид спереди, вид слева).

На рис. 7-9 представлены экспериментальные данные изолиний нормальных вертикальных напряжений в основании модели фундамента на различных этапах нагружения полученные с помощью графического приложения программного комплекса "СОТИ".

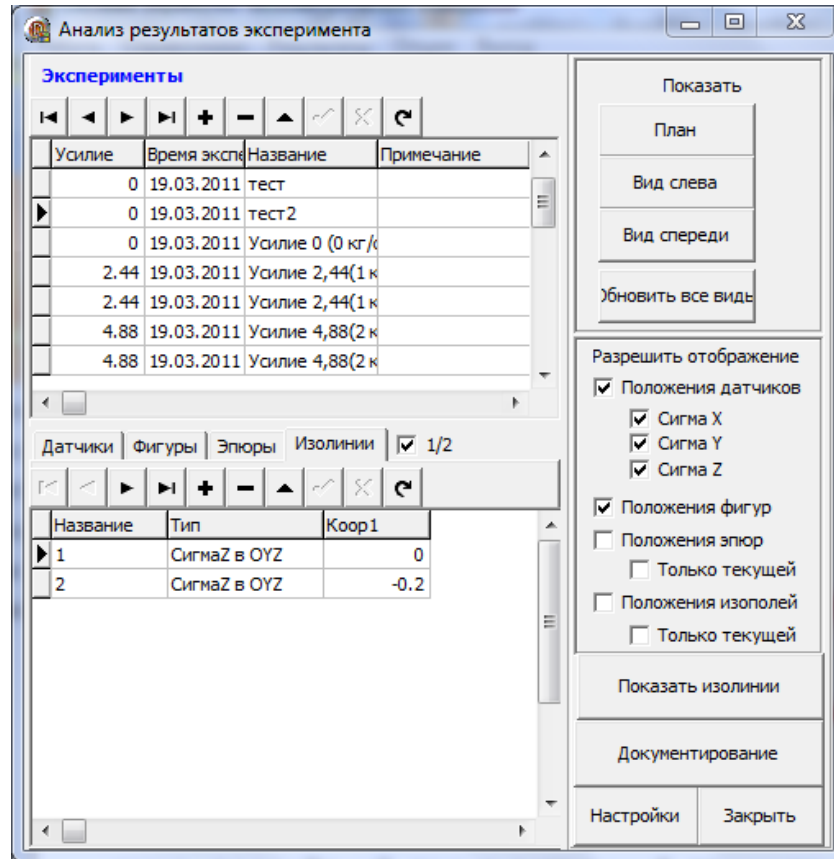


Рис. 6 – Окно «Анализ результатов эксперимента».

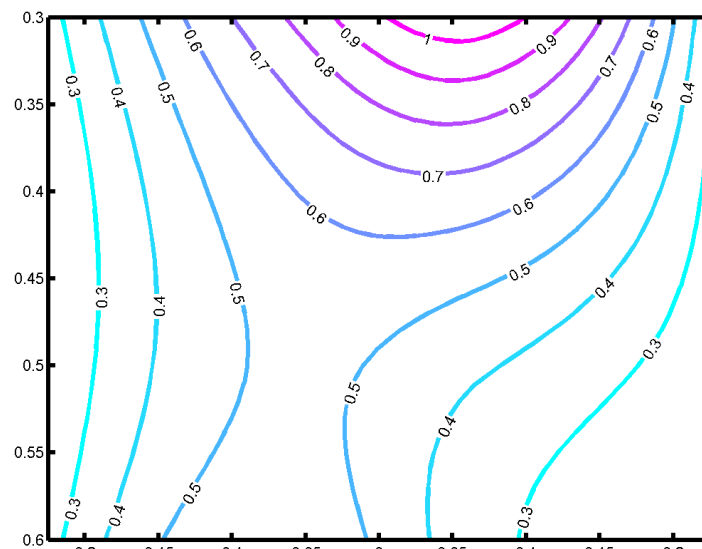


Рис. 7 – Изолинии нормальных вертикальных напряжений в основании модели фундамента при давлении по подошве 1 кг/см^2

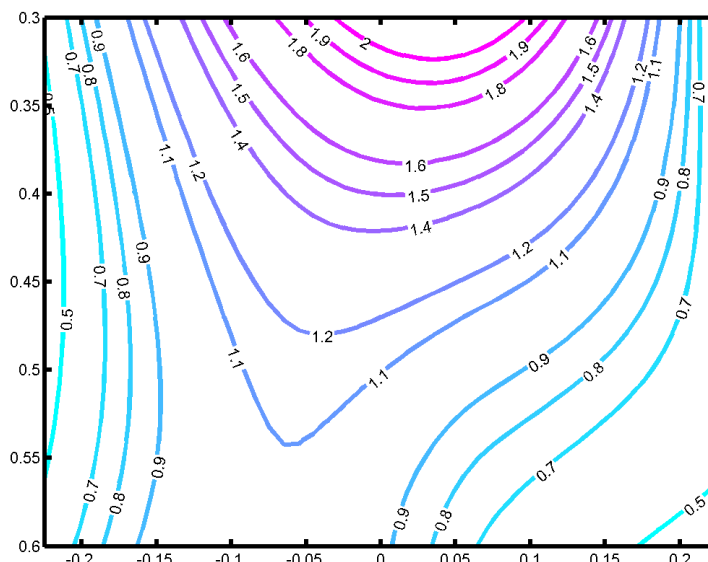


Рис. 8 – Изолинии нормальных вертикальных напряжений в основании модели фундамента при давлении по подошве 2 кг/см^2

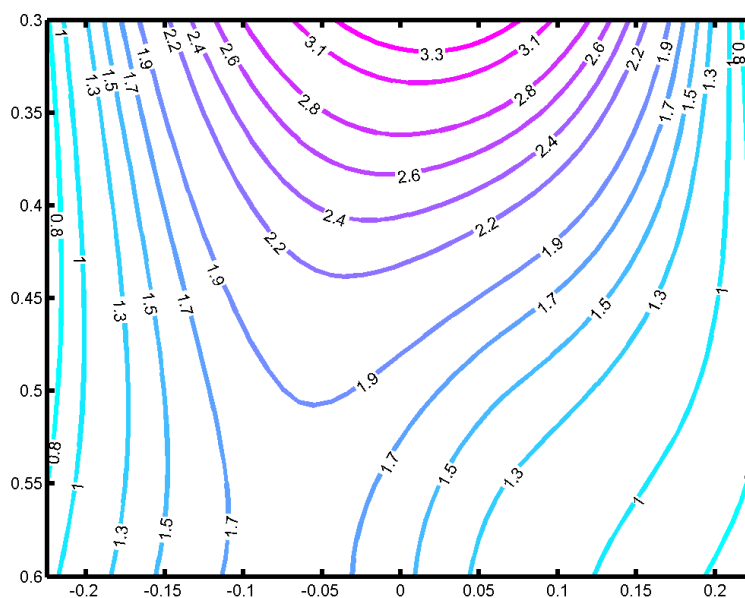


Рис. 9 – Изолинии нормальных вертикальных напряжений в основании модели фундамента при давлении по подошве $3,3 \text{ кг/см}^2$

В случае, если в ходе проведения экспериментов появляются некорректные данные, связанные с повреждением датчика или отсутствием сигнала, которые влияют на правильность полученных результатов, в программе реализована возможность корректировки результатов эксперимента.

Редактор позволяет выполнить анализ ранее выполненных исследований, результаты которых хранятся в базе данных, и воспроизвести эпюры и изополя для анализа напряжено-деформированного состояния испытуемой модели.

На последнем этапе программа помогает формировать отчет по проведенным исследованиям с помощью функции «документирования». Все результаты исследований экспортируются в HTML- файл в виде таблиц, схем и графических объектов.

Программа «СОТИ» в комплексе с системой научных исследований оснований и фундаментов на моделях прошла положительное тестирование при проведении экспериментов в лаборатории кафедры ПГСГиФ ЮРГТУ (НПИ).

Внедрение автоматизации в экспериментальные исследования позволяет оптимизировать все их этапы, сократить время анализа результатов и математической обработки данных. К тому же в условиях натурного эксперимента автоматизация позволяет создавать системы геотехнического мониторинга.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Мурзенко Ю.Н. Инженерные сооружения природоохранных комплексов и информационное моделирование их взаимодействия с грунтовым массивом/Мурзенко Ю.Н., Абуханов А.З, Субботин А.И. и др.; Учебное пособие: Южно-Российск. гос. –техн. ун-т. Новочеркасск, 1999.- 58с.
2. Мурзенко Ю.Н. Основные принципы моделирования совместной работы фундаментов и песчаного основания / Ю.Н. Мурзенко // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Материалы ко II симпозиуму (Ленинград, сентябрь, 1969 г.). – Новочеркасск, 1969. – С.85-93.
3. Мурзенко Ю.Н. Экспериментально-теоретические исследования силового взаимодействия фундаментов и песчаного основания : дисс. ... докт. техн наук : 05.23.02 : - Новочеркасск, 1972.- 576 с.

4. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальные исследования тензора деформаций и тензора напряжений по оси круглого штампа на песчаном основании / Мурзенко Ю.Н., Галашев Ю.В., Дыба В.П. // Напряженно-деформированное состояние оснований и фундаментов: Межвуз. сб.- Новочеркасск, 1977.- С. 23-27.
5. Субботин А.И. Работа оснований ограниченной распределительной способности : дис. ...канд. техн. наук : 05.23.17; 05.23.02 : - Ростов-н/Д, 1995.- 221с.
6. Ревенко В.В. Экспериментальные исследования напряженного состояния песчаного основания под круглым штампом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Новочеркасск, 1981.- 20 с.
7. Субботин А.И. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния основания фундаментов больших площадей / Субботин А.И. // Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 22-23 мая 2013 г. - № 2.- С. 4-9.
8. Шматков В.В. Распределение напряжений в упругой полуплоскости ограниченной распределительной способности при действии полубесконечных нагрузок / Шматков В.В., Субботин А.И. // Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований.- Новочеркасск, 1990.- С. 35 - 42.
9. Краснояруженский Л.В. Методика автоматизированного экспериментального изучения деформаций в массиве песчаного основания / Краснояруженский Л.В., Луценко А.К. / Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований. Новочеркасск, 1990.- С. 111-115.
10. Шматков В.В. Информационное моделирование в исследованиях фундаментов и оснований/Шматков В.В., Скибин Г.М., Субботин А.И. и др.; Информационная технология в архитектуре: Тез. докл. Рос. науч. конф. Ростов-на-Дону, 1993.- С. 22 - 23.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Murzenko Yu. N. Inzhenernyye sooruzheniya prirodokhrannykh kompleksov i informatsionnoye modelirovaniye ikh vzaimodeystviya s gruntovym massivom [Engineering Structures of Nature Protection Complexes and Information Modeling of Their Interaction with Soil Body] / Murzenko Yu.N., Abukhanov A.Z., Subbotin A.I. et al; Textbook: South-Russian. State-techn. un-t. Novocherkassk, 1999. 58p. [In Russian]
2. Murzenko Yu.N. Osnovnyye printsipy modelirovaniya sovmestnoy raboty fundamentov i peschanogo osnovaniya [Basic Principles of Modeling Joint Operation of Foundations and Sand Base] / Yu.N. Murzenko // Experimental research of engineering structures: Materials for the II Symposium (Leningrad, September, 1969). – Novocherkassk, 1969. – P.85-93. [In Russian]
3. Murzenko Yu.N. Eksperimental'no-teoreticheskiye issledovaniya silovogo vzaimodeystviya fundamentov i peschanogo osnovaniya [Experimental-theoretical Studies of Force Interaction of Foundations and Sand Base]: Thesis of PhD in Engineering: 05.23.02: Novocherkassk, 1972. 576 p. [In Russian]
4. Murzenko Yu.N. Eksperimental'nyye issledovaniya tenzora deformatsiy i tenzora napryazheniy po osi kruglogo shtampa na peschanom osnovanii [Experimental Studies of Strain Tensor and Stress Tensor along Axis of Circular Stamp on Sand Base] / Murzenko Yu.N., Galashev Yu.V., Dyba V.P. // Stress-strain state of foundations and foundations: Interuniversity. col. – Novocherkassk, 1977. – P. 23-27. [In Russian]
5. Subbotin A.I. Rabota osnovaniy ogranichennoy raspredelitel'noy sposobnosti [Operation of Bases of limited Distribution Ability]: Thesis of PhD in Engineering: 05.23.17; 05.23.02: Rostov-n/d, 1995. 221p. [In Russian]
6. Revenko V.V. Eksperimental'nyye issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya peschanogo osnovaniya pod kruglym shtampom [Experimental Studies of Stressed State of Sand Base under Round Die]: Abstract of PhD in Engineering. Novocherkassk, 1981. – 20 p. [In Russian]
7. Subbotin A.I. Eksperimental'nyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniya fundamentov bol'shikh ploshchadey [Experimental Studies of Stress-strain State of Foundations of Large Areas] / Subbotin A.I. // Fundamental science and technology – perspective developments: Proceedings of the international scientific-practical Conf., Moscow, May 22-23, 2013 No. 2. – P. 4-9. [In Russian]
8. Shmatkov V.V. Raspredeleniye napryazheniy v uprugoy poluploskosti ogranichennoy raspredelitel'noy sposobnosti pri deystvii polubeskonechnykh nagruzok [Stress Distribution in Elastic Half-plane of Limited Distribution Capacity under Action of Semi-infinite Loads] / Shmatkov V.V., Subbotin A.I. // Research and development on computer design of foundations and foundations. - Novocherkassk, 1990. – P. 35–42. [In Russian]
9. Krasnoyarskiy L.V. Metodika avtomatizirovannogo eksperimental'nogo izucheniya deformatsiy v massive peschanogo osnovaniya [Method of Automated Experimental Study of Deformations in Array of Sandy Bases] / Krasnoyarskiy L.V., Lutsenko A.K. / Research and Development on Computer Design of Basements and Foundations. Novocherkassk, 1990. – P. 111-115. [In Russian]
10. Shmatkov V.V. Informatsionnoye modelirovaniye v issledovaniyakh fundamentov i osnovaniy [Informational Modeling in Studies of Foundations and Basements] / Shmatkov V.V., Skibin G.M., Subbotin A.I. et al; Information technology in architecture: Proc. of reports at Scientific conference in Rostov-on-Don, 1993. p. 22–23. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.088>Уткин В.А.¹, Кадисов Г.М.²¹ORCID: 0000-0002-2044-3242, доктор технических наук, ²ORCID: 0000-0002-7257-3372, доктор технических наук, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ ИЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ДОЩАТО-КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВОПЛИТ****Аннотация**

Статья посвящена изучению напряженно-деформированного состояния многослойной клееной деревоплиты из перекрестных досок, являющейся несущим элементом дощато-клееных пролетных строений мостов. Деревоплита из нечетного числа слоев перекрестных досок может рассматриваться как однородная тонкая плита с отличающимися свойствами в разных направлениях, с другой стороны она представляет многослойную конструкцию из спаянных (склеенных) однородных анизотропных слоев. Слои деревоплиты составлены из узких досок, не объединенных клеевой прослойкой по кромкам. Результаты исследования указывают на возможность применения многослойных деревоплит для плитных пролетных строений мостов.

Ключевые слова: дощато-клееное пролетное строение, многослойная деревоплита из перекрестных досок, четные, нечетные слои досок.

Utkin V.A.¹, Kadisov G.M.²¹ORCID: 0000-0002-2044-3242, PhD in Engineering, ²ORCID: 0000-0002-7257-3372, PhD in Engineering, Siberian Automobile and Highway University (SIBADI)**SIMULATION OF STRAIN-STRESS STATE OF BRIDGE FRAMEWORKS MADE OF MULTI-LAYER PLANK-GLUED TIMBER SLABS****Abstract**

The paper is devoted to the study of the strain-stress state of a multi-layer glued timber slab made of crossed planks, which is a bearing element of plank-glued bridge frameworks. Timber slab made of an odd number of cross-plank layers can be considered as a homogeneous thin slab having different properties in different directions, on the other hand it represents a multi-layered structure of welded (glued) homogeneous anisotropic layers. Layers of timber slabs are made up of narrow boards, not joined by a glued layer along the edges. The results of the study indicate the possibility of using multi-layer timber slabs for plate bridge spans.

Keywords: plank-glued span structure, multilayer timber slabs made of cross planks, even, odd layers of boards.

В настоящее время за рубежом плитные пролётные строения из древесины применяются в виде продольной деревоплиты различной конструкции, опёртой на капитальные опоры. В зависимости от вида деревоплиты можно выделить три типа плитных пролётных строений (рис. 1): а) клееная плита; б) обжатая клееная плита; в) обжатая плита [1, С. 8], [2, С. 49, 217-218], [3, С. 10-13], [4, С. 28-31].

Пролётное строение - клееная плита составляется из клееных панелей, объединенных между собой снизу поперечными балками. Количество панелей в поперечном направлении определяется шириной проезжей части моста. Панели шириной 1,2...1,7м и высотой 0,22...0,36м сформированы из уложенных на ребро и склеенных между собой досок. Продольные стыки между смежными панелями заполнены битумным герметиком.

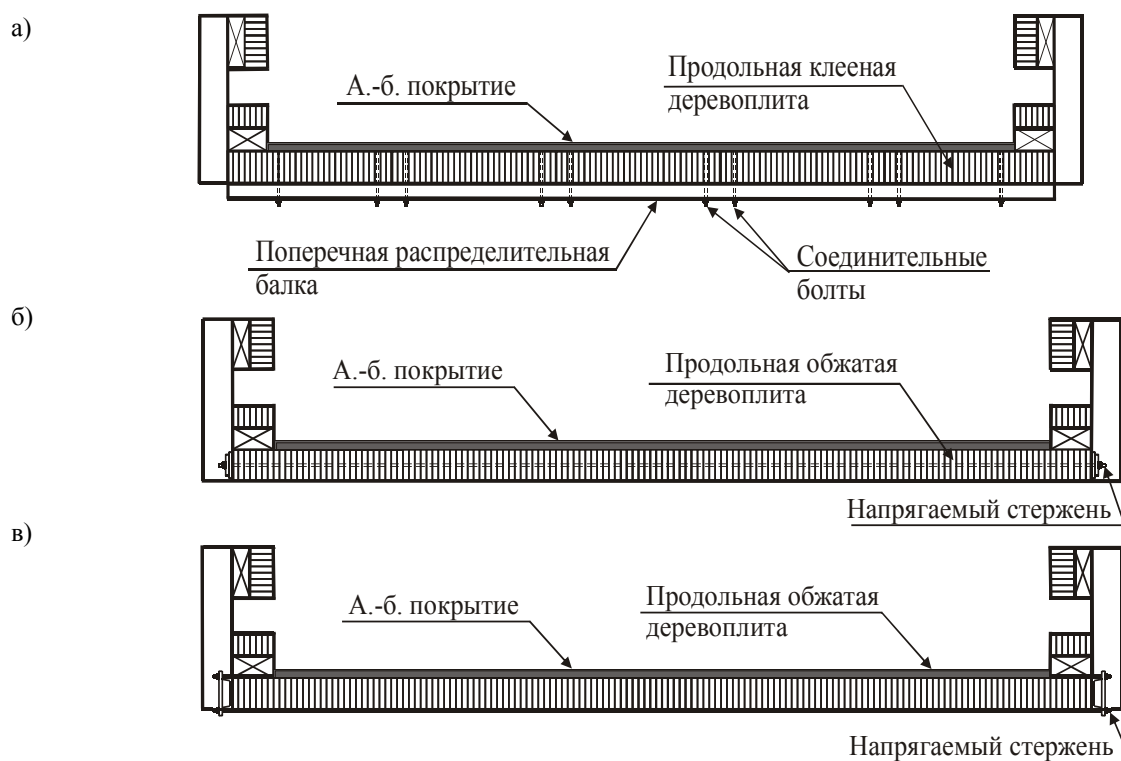


Рис. 1 - Типы плитных пролетных строений с клееной деревоплитой а) клееная плита; б) обжатая клееная плита; в) обжатая плита

Основное отличие пролетного строения «обжатая клееная плита» от предыдущего заключается в том, что уложенные боковой стороной плотно друг к другу на опоры склеенные из досок панели обжаты усилиями высокопрочных стержней, размещаемых как в отверстиях внутри панелей, так и снаружи (рис.1 б,в). Пролетное строение из обжатых клееных панелей применяется в качестве плитного пролётного строения при пролётах до 12 м.

Пролетное строение - обжатая плита (без склеивания досок) также нашла применение в качестве самостоятельной несущей конструкции из древесины. Плиту набирают из уложенных на ребро досок и обжимают высокопрочными стальными стержнями. Для достижения требуемого обжатия и трения между слоями досок стержни натягиваются с усилием 134...356 КН, в зависимости от диаметра стержня и расстояния между смежными стержнями. Предполагается, что около 60% усилий натяжения может быть потеряно на обжатие слоёв досок. К недостаткам данной конструкции следует отнести: 1) высокую трудоемкость сборки плиты из отдельных досок на всю ширину моста; 2) необходимость ввиду предполагаемых потерь в усилиях натяжения стальных стержней их периодического подтягивания на этапе эксплуатации моста; 3) подверженность конструкции с многочисленными вертикальными швами между досками увлажнению с последующим образованием гнили. Указанные недостатки характерны и для первых двух типов плит с клееными панелями. Кроме того, в пролетных строениях с досками «на ребро» строительная высота ограничивается стандартной шириной доски, что в свою очередь ограничивает их применение при увеличении длины пролетов.

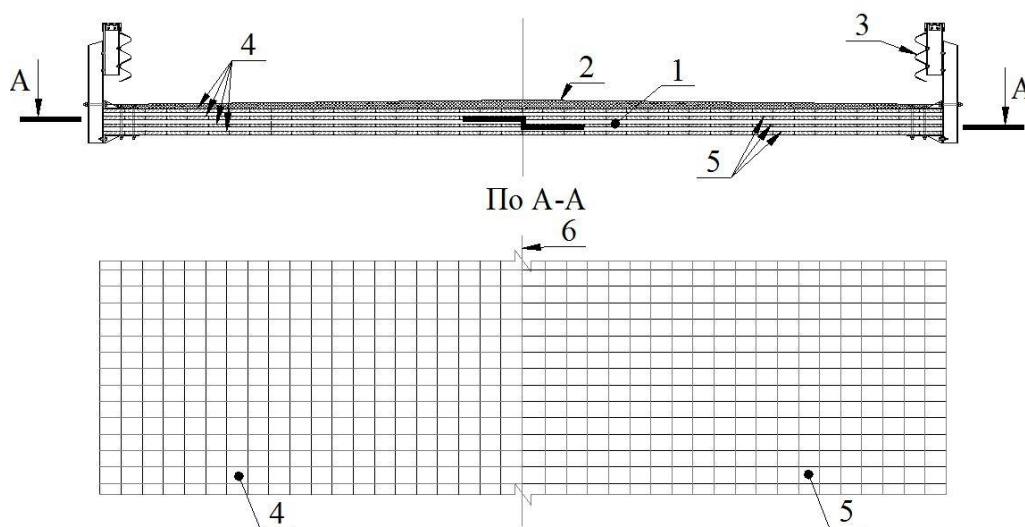


Рис. 2 – Поперечное сечение и план клееной деревоплиты плитного пролетного строения из перекрестных досок.
1 - клееная деревоплита; 2 - дорожное покрытие; 3 - дорожное ограждение; 4 - продольные (нечетные) слои досок;
5 - поперечные (четные) слои досок

Известно также пролетное строение [5], содержащее в своем составе деревоплиту из ортогональных слоев склеенных по пласти досок, размещенных так, что все нечетные слои расположены вдоль моста, а все четные слои - поперек (рис.2).

Анализ существующих конструкций мостов из клееной древесины показал, что в мостостроении деревоплиты из перекрестных досок не применялись и свойства их не изучены. Как известно, с увеличением количества перекрестных слоев несущая способность представленной конструкции деревоплиты будет возрастать и это позволит повышать грузоподъемность и длину пролетных строений этого типа. В результате, многослойная деревоплита из перекрестных досок может быть рассмотрена как отдельный тип плитного пролетного строения.

В пролетных строениях этого типа перекрывающие и склеенные по пласти слои досок естественно обеспечивают влагозащиту нижележащих слоев и тем самым обеспечивают защитные свойства конструкций. Вместе с тем, исключение из конструкции стальных элементов обжатия существенно упрощает содержание конструкции в процессе эксплуатации. Все это положительно отличает данную конструкцию от ранее применяемых плитных пролетных строений.

В соответствии с требованиями [6], предъявляемыми к конструкциям повышенного уровня ответственности по надежности, расчеты их рекомендуется проводить на основе исследований на моделях или натурных конструкциях.

В качестве экспериментальной модели была принята многослойная деревоплита из перекрестных досок длиной 9,0 м и шириной 10,4 м. Деревоплита выполнена из 9 слоев перекрестных досок толщиной 32мм [7, с.293-301]. Расчетная нагрузка – четырехосная колесная тележка НК-80. Расчет выполнен методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса COSMOS/M. В качестве конечного элемента использовался четырехузловой многослойный четырехугольный элемент SHELL4L.

Расчетная схема предусматривает дискретное опирание двух сторон плиты пролетного строения (8 точек с каждой стороны). Внешняя нагрузка от НК-80 приведена к узлам расчетной модели.

На рисунке (рис.3а) представлена деформированная форма пролетного строения под нагрузкой НК-80. Поперечное сечение в середине пролета обозначено узловыми точками, места опирания конструкции представлены в виде опорных связей, узлы приложения нагрузки обозначены сосредоточенными силами. На рисунке (рис.3б) приведен график распределения нормальных напряжений σ_x на нижней поверхности деревоплиты, на рисунке (рис.3в) – эпюра прогибов плиты в поперечном сечении пролета.

Приведенные расчетные данные напряженного состояния девятислойной деревоплиты пролетом 9,0 м при нагрузке НК-80 свидетельствуют о том, что в рассматриваемой конструкции наибольшие нормальные напряжения при изгибе как вдоль, так и поперек волокон не превышают расчетных сопротивлений, установленных нормами для клееной древесины. При этом установлено, что максимальные касательные напряжения в плоскости клеевых швов находятся в пределах, установленных нормами для расчетных сопротивлений древесины на растяжение поперек волокон, и в несколько раз меньше расчетных сопротивлений клеевых соединений на сдвиг. В результате подтверждается правомочность включения жестких клеевых прослоек в совместную работу с перекрестными досками деревоплиты. Одновременно, данные расчета свидетельствуют о перераспределении напряжений между слоями деревоплиты в соответствии с анизотропными свойствами древесины слоев.

Таким образом, результаты выполненного расчета показали, что исследуемая конструкция в основном удовлетворяет современным требованиям по предельным состояниям для деревянных мостов и может быть использована на практике.

С точки зрения теории упругости многослойная деревоплита может быть отнесена к разряду анизотропных плит, в которых срединная плоскость является плоскостью упругой симметрии, а симметричные слои однородны и ортотропны [8, С. 404-412], [9, С. 413-420]. В инженерной практике для расчета фанерных плит широкое применение получила теория Лехницкого С.Г. [10, С. 182-197].

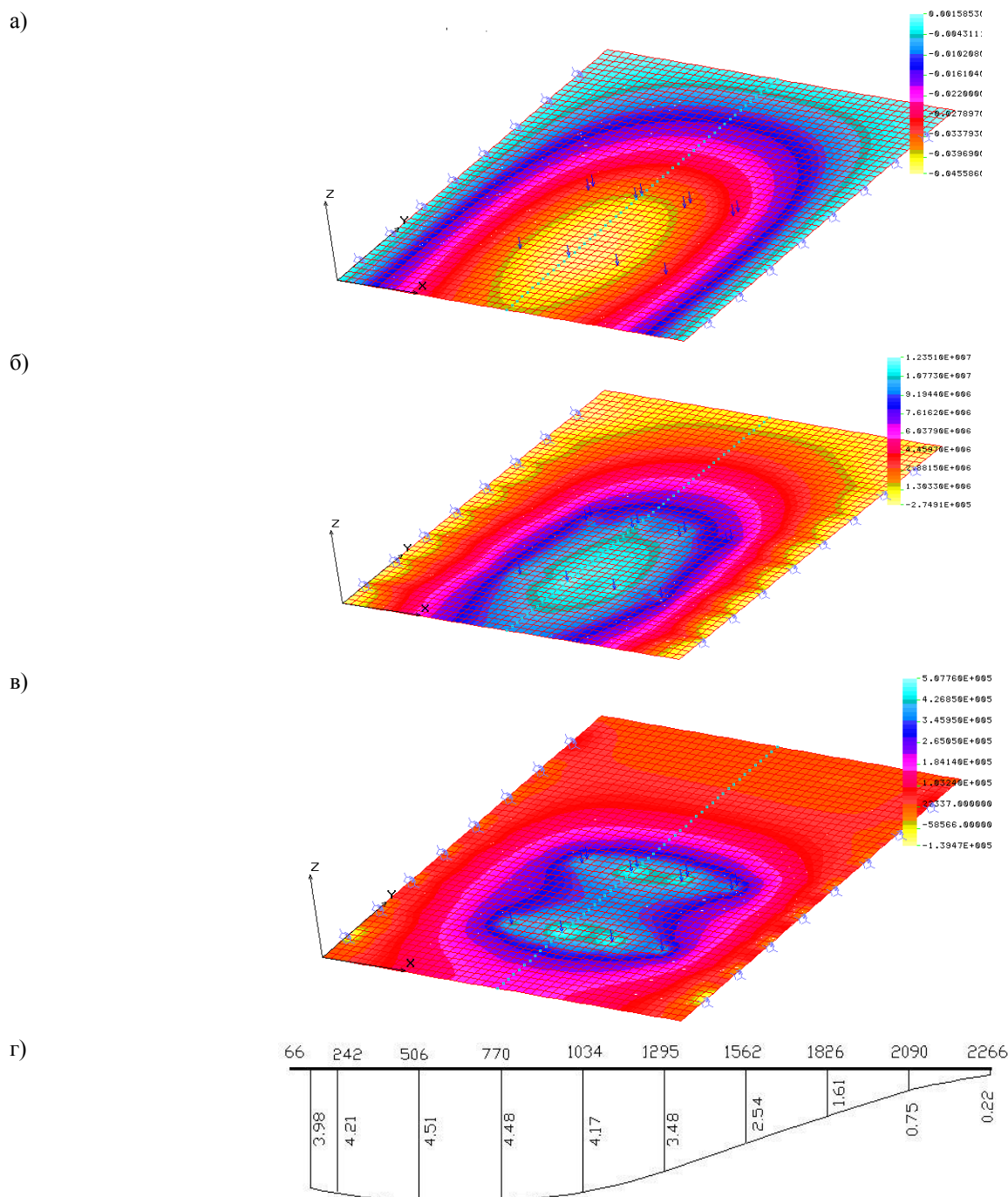


Рис. 3 – Напряженно-деформированное состояние плитного пролетного строения от нагрузки НК-80.

а) поверхность прогибов [м]; б) график нормальных напряжений σ_x на нижней поверхности плиты [МПа]; в) то же – σ_y [МПа]; г) Эпюра прогибов в поперечном сечении $L/2$ пролета [см]

В соответствии с этой теорией пролетное строение представлено многослойной плитой, нечетные слои расположены в продольном направлении, а четные - в поперечном. Толщина каждого слоя одинакова. На крайних поперечных сторонах плита свободна от опорных закреплений и потому изгибающие моменты и поперечные силы здесь отсутствуют.

Уравнение прогибов ортотропной пластинки имеет следующий вид:

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q(y), \quad (1)$$

где D_1 , D_2 , D_3 – жесткости многослойной пластины, а $q(y)$ – заданная нагрузка.

Пластика опирается двумя противоположными сторонами шарнирно, две другие стороны свободны. При этом прогибы и изгибающие моменты на опертых сторонах ($y=0$ и $y=b$) равны нулю, а на свободных сторонах отсутствуют изгибающие моменты и поперечные силы.

Решение уравнения (1) представим в виде суммы:

$$w = w_0(y) + w_1(x, y) \quad (2)$$

Функция w_0 удовлетворяет уравнению (3) и соответствующим шарнирным условиям (4):

$$D_2 w_0'' = q(y), \quad (3)$$

$$w_0(0) = w_0''(0) = w_0(b) = w_0''(b) = 0. \quad (4)$$

Функция w_1 удовлетворяет однородному уравнению

$$D_1 \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w_1}{\partial y^4} = 0, \quad (5)$$

Функцию w_0 необходимо представить ее в виде ряда Фурье по синусам:

$$w_0 = \frac{b^4}{D_2 \pi^4} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{n^4} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (6)$$

где коэффициенты разложения ряда Фурье функции $q(y)$

$$a_n = \frac{2}{b} \int_0^b q \sin \frac{n\pi y}{b} dy. \quad (7)$$

Функцию w_1 представим в виде ряда

$$w_1 = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) \sin \frac{n\pi y}{b}. \quad (8)$$

Полный прогиб (2) должен удовлетворять граничным условиям.

Функция X_n определяется однородным дифференциальным уравнением:

$$D_1 X_n^{IV} + 2D_3 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 X_n'' + D_2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4 X_n = 0. \quad (9)$$

Функция X_n зависит от корней характеристического уравнения:

$$D_1 s^4 - 2D_3 s^2 + D_2 = 0 \quad (10)$$

Корни уравнения (10) комплексные: $s \pm ti$, $-s \pm ti$.

Функция X_n содержит произвольные постоянные A_n , B_n , C_n , D_n :

$$X_n = (A_n \cos \frac{n\pi x}{b} + B_n \sin \frac{n\pi x}{b}) \operatorname{ch} \frac{n\pi s x}{b} + (C_n \cos \frac{n\pi x}{b} + D_n \sin \frac{n\pi x}{b}) \operatorname{sh} \frac{n\pi s x}{b}, \quad (11)$$

Произвольные постоянные определяются из уравнений равенства нулю моментов и поперечных сил на свободных краях пластинки.

Многослойная пластинка состоит из нечетного числа однородных ортотропных слоев. Нечетные слои имеют модули упругости E_2 и $\mu = 0,5$, четные (в поперечном направлении) - E_1 и $\mu = 0,02$.

Жесткости многослойной пластинки в поперечном и в продольном направлении пролета представлены в общем виде:

$$D_1 = \frac{2}{3} \left[\frac{E_1^{n+1} h_{n+1}^3}{1 - \nu_1^{n+1} \nu_2^{n+1}} + \sum_{m=1}^n \frac{E_1^m}{1 - \nu_1^m \nu_2^m} (h_m^3 - h_{m+1}^3) \right]; \quad D_2 = \frac{2}{3} \left[\frac{E_2^{n+1} h_{n+1}^3}{1 - \nu_1^{n+1} \nu_2^{n+1}} + \sum_{m=1}^n \frac{E_2^m}{1 - \nu_1^m \nu_2^m} (h_m^3 - h_{m+1}^3) \right];$$

$$D_k = \frac{2}{3} \left[G^{n+1} h_{n+1}^3 + \sum_{m=1}^n G^m (h_m^3 - h_{m+1}^3) \right]; \quad \nu_1 = \frac{2}{3D_2} \left[\frac{E_2^{n+1} \nu_1^{n+1} h_{n+1}^3}{1 - \nu_1^{n+1} \nu_2^{n+1}} + \sum_{m=1}^n \frac{E_2^m \nu_1^m}{1 - \nu_1^m \nu_2^m} (h_m^3 - h_{m+1}^3) \right];$$

$$\nu_2 = \nu_1 \frac{D_2}{D_1}, \quad G = \frac{E}{2(1 + \nu)}.$$

Прогиб многослойной пластинки под воздействием одного стоящего грузового автомобиля представлен в следующем виде:

$$\begin{aligned}
w = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{a_n b^4}{D_2 \pi^4 n^4} + A_n \left(\cos \frac{n\pi x}{b} \operatorname{ch} \frac{n\pi s x}{b} + \cos \frac{n\pi(x-d)}{b} \operatorname{ch} \frac{n\pi s(x-d)}{b} \right) + \right. \\
\left. + B_n \left(\sin \frac{n\pi x}{b} \operatorname{ch} \frac{n\pi s x}{b} + \sin \frac{n\pi(x-d)}{b} \operatorname{ch} \frac{n\pi s(x-d)}{b} \right) + \right. \\
\left. + C_n \left(\cos \frac{n\pi x}{b} \operatorname{sh} \frac{n\pi s x}{b} + \cos \frac{n\pi(x-d)}{b} \operatorname{sh} \frac{n\pi s(x-d)}{b} \right) + \right. \\
\left. + D_n \left(\sin \frac{n\pi x}{b} \operatorname{sh} \frac{n\pi s x}{b} + \sin \frac{n\pi(x-d)}{b} \operatorname{sh} \frac{n\pi s(x-d)}{b} \right) \right] \sin \frac{n\pi x}{b},
\end{aligned} \quad (12)$$

где d – расстояние между двумя рядами колес.

На двух продольных кромках пластины изгибающие моменты и поперечные силы отсутствуют и поэтому коэффициенты A_n , B_n , C_n , D_n определяются из уравнений:

$$\text{для моментов} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad (13)$$

$$\text{для поперечных сил} - \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + \frac{D_3 + 2D_k}{D_1} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} = 0 \quad (14)$$

Уравнения (13-14) после преобразований представлены:

$$\begin{aligned}
\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ A_n [\gamma \cdot CC(x) - \zeta \cdot SS(x)] + B_n [\gamma \cdot SC(x) - \zeta \cdot CS(x)] + \right. \\
\left. + C_n [\gamma \cdot CS(x) - \zeta \cdot SC(x)] + D_n [\gamma \cdot SS(x) - \zeta \cdot CC(x)] - \frac{a_n b^4}{D \pi n^4} \right\} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b} = 0; \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ A_n [-\xi \cdot SC(x) + \vartheta \cdot CS(x)] + B_n [\xi \cdot CC(x) + \vartheta \cdot SS(x)] + \right. \\
\left. + C_n [-\xi \cdot SS(x) - \vartheta \cdot CC(x)] + D_n [\xi \cdot CS(x) - \vartheta \cdot SC(x)] \right\} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b} = 0, \quad (16)
\end{aligned}$$

где $\gamma = s^2 - t^2 - \nu$, $\zeta = 2st$, $\xi = t(3s^2 - t^2 - \mu)$, $\vartheta = s(s^2 - 3t^2 - \mu)$,

$CC(\mathbf{x}) = \cos Tx \operatorname{ch} Sx + \cos T(x-d) \operatorname{ch} S(x-d)$; $SC(\mathbf{x}) = \sin Tx \operatorname{ch} Sx + \sin T(x-d) \operatorname{ch} S(x-d)$;

$CS(\mathbf{x}) = \cos Tx \operatorname{sh} Sx + \cos T(x-d) \operatorname{sh} S(x-d)$; $SS(\mathbf{x}) = \sin Tx \operatorname{sh} Sx + \sin T(x-d) \operatorname{sh} S(x-d)$.

Для каждой продольной кромки необходимо составить по два уравнения. В итоге, для двух продольных кромок получим четыре уравнения, в которых два первых уравнения обеспечивают отсутствие изгибающих моментов на продольных кромках, а два других – отсутствие поперечных сил. Таким образом, из системы четырех уравнений будут вычислены параметры A_n , B_n , C_n , D_n . По этим полученным значениям можно вычислить прогибы в требуемых координатах пластинки.

Пример. Плита состоит из девяти слоев одинаковой толщины $\delta = 3,2 \cdot 10^{-2}$ м. Общая толщина плиты 28,8 см. Модуль упругости нечетных слоев в направлении пролета равен $E_2 = 1 \cdot 10^4$ МПа, а в поперечном – $E_1 = 400$ МПа. Модуль упругости ортогональных (четных) слоев имеет такие же значения.

Модули сдвига: $G_1 = \frac{1 \cdot 10^4}{2(1+0,5)} = 3333,33$ МПа, $G_2 = \frac{400}{2(1+0,02)} = 196,078$ МПа. Слои жестко склеены и при деформировании работают совместно.

На рис. 4 плита представлена в виде пластинки с приложенной колесной нагрузкой. Основные данные: $F=10$ т, $b=8,6$ м, $a=10,4$ м, $x=d=2,7$ м.

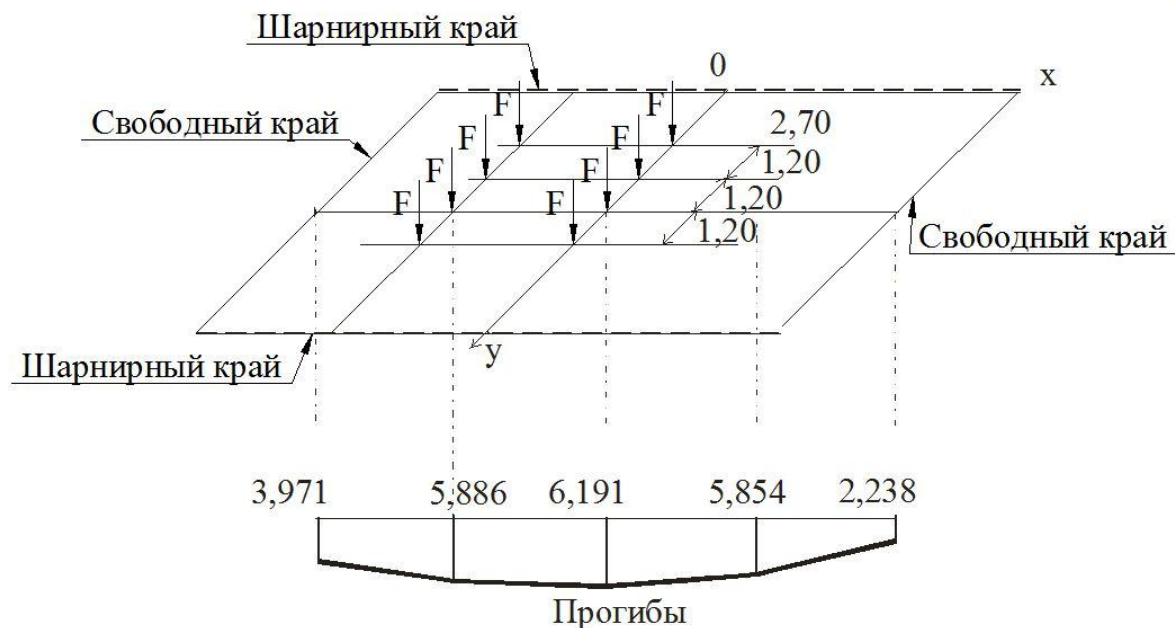


Рис. 4 – Пролетное строение в виде многослойной пластины пролетом 8,60 м, шириной 10,40 м.

Жесткости пластины: $D_2 = 13,6467$; $D_1 = 7,2652$, $D_k = 4,544$, $D_3 = D_1 \nu_2 + 2D_k = 9,49034$.

Уравнение (10) с учетом $D_3 / D_1 = 1,306273$, $D_2 / D_1 = 1,878365$ представлено в виде $s^4 - 2,1,306273 \cdot s^2 + 1,878365 = 0$.

В итоге получены комплексные корни: $\pm s \pm ti$, при этом $s = 1,156893963$, $t = 0,179250222$.

Для вычисления коэффициентов уравнений изгибающих моментов и поперечных сил подсчитаны коэффициенты $\gamma = 1,250733$; $\zeta = 0,414747$; $\xi = 0,269372$; $\vartheta = -1,432575$.

В продольном ряду расположены четыре колеса с координатами $\eta_1 = 2,9$ м, $\eta_2 = 3,1$ м, $\eta_3 = 4,3$ м, $\eta_4 = 5,5$ м.

Уравнения (15) и (16) представим в матричной форме.

Для формирования свободного столбца используем ранее полученную сумму для четырех колес $\sum_{i=1}^4 \sin\left(\frac{n\pi}{b}\right) = \sin 39,767^\circ + \sin 64,883^\circ + \sin 90^\circ + \sin 115,116^\circ = 3,450551$.

Система из четырех уравнений с четырьмя неизвестными параметрами представлена в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} 18,025588 & -16,614297 & -17,832979 & 16,61009 \\ 6,795416 & +4,292306 & 6,197789 & 4,073113 \\ 26,166162 & -6,406102 & -26,349956 & 6,514793 \\ -8,298673 & -0,587495 & -8,920311 & -0,973416 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3,450551 \\ -3,450551 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

В результате решения системы уравнения имеем:

$A = 0,086014025$; $B = -0,352051746$; $C = 0,01293319$; $D = -0,639337857$.

Прогибы на линии, расположенной перпендикулярно оси пластинки, можно подсчитать по формуле (12). Координаты точек, ориентированных перпендикулярно оси пролетного строения: $-5,20$, $-2,60$, 0 , $2,70$, $5,20$ и $-7,90$, $-5,30$, $-2,70$, 0 , и $2,50$ м.

Матрица коэффициентов умножается на столбец параметров

$$\begin{pmatrix} 16,5581 & -8,498949 & -16,42236 & 9,929128 \\ 6,108917 & -1,898121 & -5,679875 & 1,804892 \\ 2,697897 & -0,303350 & -1,383397 & 0,247161 \\ 2,697897 & 0,303350 & 1,383397 & 0,247161 \\ 5,886055 & 1,784625 & 5,438352 & 1,690874 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,086014025 \\ -0,352051746 \\ 0,01293319 \\ -0,639337857 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,144156 \\ 0,033705 \\ -0,162941 \\ 0,014866 \\ 1,132702 \end{pmatrix}.$$

В результате получены относительные прогибы \bar{w} :

$3,450551 - 2,144156 = 1,30584$. $3,450551 - 0,033705 = 3,41629$. $3,450551 + 0,16294 = 3,61294$. $3,450551 - 0,01486 = 3,43513$. $3,450551 - 1,13270 = 2,31729$.

Фактические прогибы получим из выражения

$$w = \frac{Fb^2}{\pi^3 n^3 D_2} \cdot \bar{w}, \text{ где } \frac{Fb^2}{\pi^3 n^3 D_2} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 8,6^2}{\pi^3 \cdot 1 \cdot 13,9186 \cdot 10^5} = 1,7136437 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Окончательные прогибы [см] $w_1 = 2,238$, $w_2 = 5,854$, $w_3 = 6,1912$, $w_4 = 5,8865$, $w_5 = 3,9710$ приведены на рис. 4.

Наша страна богата древесиной, добывают ее много, но в строительстве капитальных конструкций мостов ее практически не используют. Ясно, что старые конструктивные формы деревянных мостов не обеспечивают пропуск современных нагрузок, нужны новые решения. Эта проблема успешно решается за рубежом. Таким образом, разработка новых конструкций пролетных строений мостов под современные тяжелые нагрузки является одним из важных направлений применения древесины в транспортном строительстве и, в частности, в мостостроении страны.

Исследование напряженно-деформированного состояния плитного пролетного строения в виде многослойной клееной древесины из перекрестных досок методом конечных элементов показало, что клееная древесина пролетом 9 м из девяти слоев досок толщиной 32 мм обладает несущей способностью современных пролетных строений. Максимальный прогиб этой конструкции составляет 1/200 длины пролета и допускается современными нормами. У данной конструкции при увеличении количества слоев грузоподъемность возрастает.

Исследование данной конструкции аналитическими методами теории упругости подтверждают сделанные выводы. Как видно из приведенных графиков, характер распределения прогибов в сечении середины пролета не совпадает, отличаются и значения, хотя это величины одного порядка. Отличия могут быть объяснены тем, что аналитическое решение получено приближенно, с одной гармоникой вдоль пролета.

Список литературы / References

1. Eurocode 5: Design of timber structure – Part 2: Bridges // European committee for standardization CEN: Brussels - 2004.
2. Handbook 1 Timber Structures. Education and Culture Leonardo da Vinci. Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/06/B/F/PP/1680007. TEMTIS - September 2008.
3. Agnieszka Gilun. Stress-laminated timber T-beam and box-beam bridges / Agnieszka Gilun, Julia Meronk // Chalmers university of technology. Göteborg, Sweden - 2006.
4. Уткин В.А. Автодорожные деревянные мосты нового поколения / Уткин В.А., Кобзев П.Н. // Монография. – Омск: Издательство СибАДИ, 2004. – 50 с.
5. Плитное дощато-клееное пролетное строение: Патент РФ на полезную модель №69528 / В.А. Уткин, Г.М. Кадисов // СибАДИ; - опубл. 27.12.2007.
6. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. – М. Стандартинформ, 2015. - 14с.
7. Уткин В.А. Особенности напряженно-деформированного состояния клееной древесины в пролетных строениях автодорожных мостов // Уткин В.А., Кадисов Г.М. // Проблемы оптимального проектирования сооружений. Доклады 4-й Всероссийской конференции. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2017. – С.293-301.
8. Уткин В.А. Пролетные строения из клееной древесины. Теоретические исследования свойств многослойной древесины из перекрестных досок // Уткин В.А. // Проблемы оптимального проектирования сооружений. Доклады I Всероссийской конференции. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. – С. 404-412.
9. Уткин В.А. Результаты экспериментального исследования многослойной перекрестной древесины на изгиб // Уткин В.А. // Проблемы оптимального проектирования сооружений. Доклады I Всероссийской конференции. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. – С. 413-420.
10. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки. – М.: Гостехиздат, 1947. – 464 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Eurocode 5: Design of timber structure – Part 2: Bridges. - European committee for standardization CEN: Brussels - 2004.
2. Handbook 1 Timber Structures // Education and Culture Leonardo da Vinci. Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/06/B/F/PP/1680007. -TEMTIS - September 2008.
3. Agnieszka Gilun. Stress-laminated timber T-beam and box-beam bridges / Agnieszka Gilun, Julia Meronk // Chalmers university of technology. Göteborg, Sweden - 2006.
4. Utkin V.A. Avtodorozhnye derevjannye mosty novogo pokolenija: monografija. [New-generation road wooden bridges: monograph] / Utkin V.A., Kobzev P.N. // Omsk. Izdatel'stvo SibADI, 2004. - Omsk: Publishing House of SibADI, 2004. - 50 p. [in Russian]
5. Plitnoe doschato-kleenoe proletnoe stroenie: Patent RF na poleznuju model' №69528 / [Plate boarded-glued span structure: the RF patent for a utility model №69528] V.A. Utkin, G.M. Kadisov; SibADI; publ. 27.12.2007. [in Russian]
6. GOST 27751-2014 Nadezhnost' stroitel'nyh konstruksij i osnovanij. [SSS 27751-2014 Reliability of building structures and foundations]. - M.Standinform, – M. Standartinform, 2015. - 14p. [in Russian]
7. Utkin V.A. Osobennosti naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija kleenoi derevoplity v proletnyh stroenijah avtodorozhnyh mostov [Features of the stress-strain state of glued wood in the span structures of road bridges] / Utkin V.A., Kadisov G.M. // Problemy optimalnogo proektirovanija sooruzhenij. Doklady 4-j Vserossijskoj konferentsii [Problems of Optimal Design of Structures. Reports of the 4th All-Russian Conference]. - Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2017. – P.293-301. [in Russian]
8. Utkin V. A. Proletnye stroenija iz kleenoi drevesiny. Teoreticheskie issledovanija svojstv mnogoslonoj derevoplity iz perekrestnyh dosok [Spans of glued timber [Theoretical studies of the properties of multilayer woodwork from cross-planks] / Utkin V.A. // Problemy optimal'nogo proektirovanija sooruzhenij. Doklady I Vserossijskoj konferentsii [Problems of Optimal Design of Structures. Reports of the First All-Russian Conference]. - Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2008. – P. 404-412. [in Russian]
9. Utkin V. A. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovanija mnogoslonoj perekrestnoj derevoplity na izgib [Results of experimental research of multilayer cross-tree jib on bending] /Utkin V.A. // Problemy optimalnogo proektirovanija sooruzhenij. Doklady I Vserossijskoj konferentsii [Problems of Optimal Design of Structures. Reports of the First All-Russian Conference]. - Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2008. – P. 413-420. [in Russian]
10. Lehnitskij S. G. Anizotropnye plastinki [Anisotropic plates] / Lehnitskij S. G. – М.: Gostehizdat, 1947. – 464 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.084>

Фролова Н.А.

ORCID: 0000-0003-0141-1998, кандидат технических наук,

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**Аннотация**

Разработана рецептура функциональных кондитерских изделий (ириса и драже) с добавлением БАД «Пантэл» и «Лавитол-Арабиногалактан». При помощи метода математического моделирования определено оптимальное соотношение вводимых БАД для получения кондитерских изделий с заданными иммуностимулирующими свойствами. На основании данных медико-биологической эффективности употребления кондитерских изделий с добавлением БАД «Пантэл» и «Лавитол-Арабиногалактан» отмечено повышение неспецифической резистентности лабораторных животных на примере снижения содержания эритроцитов 2,3-ДФГ при регулярном воздействии низких температур, что способствует лучшей оксигенации.

Ключевые слова: рецептура, кондитерские изделия, БАД, иммуностимуляторы.

Frolova N.A.

ORCID: 0000-0003-0141-1998, PhD in Engineering,

Amur State University, Blagoveshchensk

DEVELOPMENT OF RECIPEUR OF CONFECTIONERY PRODUCTS FOR FUNCTIONAL NUTRITION**Abstract**

A recipe for functional confectionery products (iris and dragee) with the addition of Pantel and Lavitol-Arabinogalactan biologically active additives is developed. An optimal ratio of the added dietary supplements to produce confectionery products with specified immunostimulatory properties is determined with the help of mathematical modeling. Based on the data on the medical and biological effectiveness of confectionery products supplemented with Pantel and Lavitol-Arabinogalactan biologically active additives, an increase in the nonspecific resistance of laboratory animals is noted with the example of reducing the erythrocyte content of 2,3-diphosphoglycerate with regular exposure to low temperatures, which contributes to better oxygenation.

Keywords: recipe, confectionery, dietary supplements, immunostimulative drugs.

Кондитерская промышленность является самостоятельной производственной отраслью [2, С. 40]. Создание новых видов кондитерских изделий с внесением биологически активных добавок (БАД), актуально и современно [7, С. 73]. Рациональное питание способствует профилактике заболеваний и адаптации организма к неблагоприятным факторам внешней среды. Ухудшение экологической обстановки выдвигает на первый план проблему сохранения здоровья людей и необходимость разработки рецептур новых видов функциональных пищевых продуктов, в том числе, сахаристых кондитерских изделий, обладающих полезными свойствами [10, С. 183]. Предложенные БАДы обладают ярко-выраженным иммуностимулирующим, тонизирующим и антиоксидантным эффектом. Так, обладая свойствами пребиотика «Лавитол-Арабиногалактан» ТУ 2455-006-70692152-2007 [5, С. 89], способствует росту полезных бактерий и короткоцепочечных жирных кислот в организме. Панты северного оленя по содержанию минеральных веществ значительно превосходят панты других видов оленей [1, С. 87], [9, С. 50]. БАД «Пантэл» - коллагено-пептидный комплекс из рогов северного оленя (Регистрационное свидетельство № RU.77.99.11.003.E.031238.06.11) обладает большим эффектом действия на организм человека за счет максимальной концентрации комплекса биологически активных веществ. В его состав входит более 80 разнообразных по своей химической природе активных веществ: пептиды, аминокислоты, липиды, углеводы, гормоны, факторы роста, нуклеотиды, макро- и микроэлементы, глюкозиды, витамины и т.д. [3, С. 140], [6, С. 123].

Цель исследования – разработать рецептуру кондитерских изделий для функционального питания.

Объектами исследований явились образцы ириса и драже с внесением БАД «Пантэл» и БАД «Лавитол-Арабиногалактан» и контрольные образцы без введения БАД.

В результате уваривания сахара, патоки, сгущенного молока, сливочного масла была получена ирисная масса [4, С.14]. Далее на стадии охлаждения ирисной массы до температуры 40-45⁰С происходит введение БАД «Пантэл» и БАД «Лавитол-Арабиногалактан». Стадия введения предлагаемых БАД происходит при адекватном температурном режиме, что способствует максимальному сохранению биологически активных веществ [8, С. 19]. Приготовление драже состояло из трех стадий: приготовление корпусов драже, дражирование и глянецвание. На первом этапе уваривается сахаро-паточный сироп до содержания сухих веществ 80 - 82 %, затем вводится эссенция. Далее проводится дражирование, поливка поливочным сиропом (температура не более 50⁰С), пересыпка сахарной пудрой, выхаживание, выстойка и глянецвание. На этапе выстойки, когда температура массы находится в пределах 40-50⁰С также вводятся БАД.

Установление оптимальной дозировки БАД в драже и ирис проводилось опытным путем при различных сочетаниях (исследуемый диапазон от 0,2% до 3% с шагом 0,2%). В ходе проведения исследований установлено, что наиболее предпочтительными явились образцы с соотношением БАД «Пантэл» и БАД «Лавитол-Арабиногалактан» 1:1. Увеличение дозировки БАД приводит к существенному изменению вкуса изделий, вследствие изменения вкуса. Следовательно, рецептура драже и ириса с введением БАД будет иметь вид:

Таблица 1 – Рецептура полуфабрикатов для приготовления драже и ириса

| Наименование сырья | Содержание сухих веществ, % | Расход на 1т фазы, кг | | Расход на 1 т готовой продукции | |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| | | В натуре | В сухих веществах | В натуре | В сухих веществах |
| Драже: | | | | | |
| сахар | 99,85 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| патока | 78,0 | 452,1 | 352,6 | 48,6 | 37,9 |
| сахарная пудра | 99,85 | 887,1 | 885,9 | 886,1 | 884,9 |
| поливочный сироп | 80,0 | 1000,0 | 800,0 | 107,5 | 86,0 |
| эссенция | - | 3,5 | - | 3,5 | - |
| корпус | 98,5 | - | - | 999,0 | 984,0 |
| БАД «Пантэл» | 98,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| БАД «Лавитол-Арабиногалактан» | 98,6 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Ирис: | | | | | |
| Сахар | 99,85 | 300,24 | 299,79 | 335,87 | 335,63 |
| Патока | 78,0 | 254,87 | 198,8 | 285,12 | 222,39 |
| Сгущенное молоко | 74 | 388,79 | 287,7 | 434,93 | 321,85 |
| Сливочное масло | 84 | 77,73 | 65,29 | 77,73 | 65,29 |
| БАД «Пантэл» | 98,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| БАД «Лавитол-Арабиногалактан» | 98,6 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Контрольные и опытные образцы кондитерских изделий с введением БАД были подвержены физико-химической оценке регламентируемых показателей согласно требованиям нормативно-технической документации, а именно согласно ГОСТ 6478-89 «Ирис. Общие технические условия» и ГОСТ 7060-79 «Драже. Технические условия» [9] (рис.1).

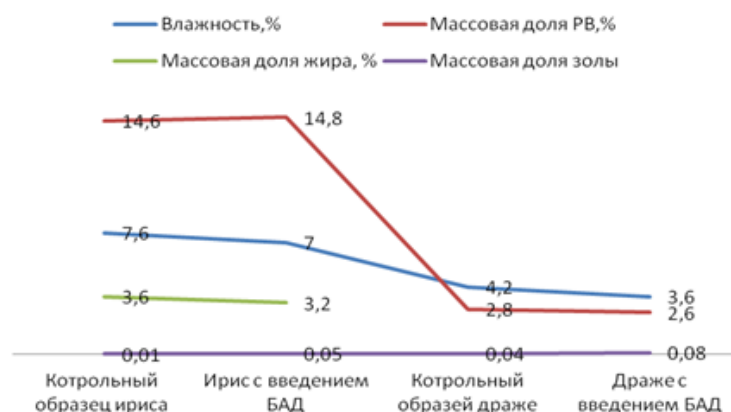


Рис. 1 – Физико-химические показатели образцов ириса и драже

Установлено, что существенного изменения исследуемых показателей (влажность, кислотность и др.) отмечено не было. Влажность ириса и драже с введением БАД была немного ниже, чем у контрольных образцов, что свидетельствует о выбранной форме предлагаемых БАД. Остальные показатели находились в пределах действующей нормативно-технической документации.

Следующим этапом исследований явилось определение оптимальной концентрации БАД для получения кондитерских изделий функционального назначения на примере оценки медико-биологической эффективности повышения резистентности лабораторных животных. В ходе проведения клинических исследований использовали 6 групп белых мышей по 20 штук, полученных из вивариума частной ветеринарной клиники «Четыре Лапы» г. Благовещенска Амурской области. Следует отметить, что работа выполнена с соблюдением Правил лабораторной практики в Российской Федерации и международных рекомендаций и правил Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных работах. Опыт и контроль с равным количеством самцов и самок в каждой. Животных кормили в течение месяца ежедневно 20 г (взятых в равных соотношениях) ириса и драже с введением БАД вместе с основным рационом при регулярной подаче холодного воздуха. Затем по окончании эксперимента был исследован развернутый клинический анализ крови в ходе, которого установлено, что у мышей употреблявших кондитерские изделия с введением БАД отмечено снижение содержания эритроцитов 2,3-

ДФГ (дифосфоглицерат), что способствует лучшей оксигенации, а, следовательно, может способствовать повышению неспецифической резистентности (табл. 1).

Таблица 2 – Содержание 2,3-ДФГ в эритроцитах мышей при воздействии холода мкМ/г гемоглобина

| Условия опыта | Время опыта | | | |
|---|-------------|---------|---------|---------|
| | 10 дней | 15 дней | 20 дней | 30 дней |
| Контрольная группа | 2,1±0,4 | 2,2±0,2 | 2,4±1,0 | 2,4±1,2 |
| Включение в рацион 20 г ириса и драже с БАД | 2,4±0,2 | 2,6±0,8 | 2,8±0,8 | 3,0±0,6 |

2,3-ДФГ служит важным регулятором связывания кислорода с гемоглобином, увеличение 2,3-ДФГ в эритроцитах облегчает высвобождение кислорода в тканях, что способствует поддержанию pO_2 в крови и в тканях на определенном уровне.

Следующим этапом исследований явился выбор более значимых факторов, влияющих на функциональные свойства ириса и драже. Выбор предусматривал проведение специальных поисковых опытов, в результате которых установлено, что значимыми факторами являются показатели x_1 - дозировка БАД «Пантэл», x_2 - дозировка БАД «Лавитол-Арабиногалактан». Для установления оптимального количественного соотношения БАД «Пантэл» и БАД «Арабиногалактан» построена матрица планирования эксперимента. Адекватность уравнений регрессии оценена с помощью критерия Фишера по условию $F_R > F_{T_i}$ при коэффициентах корреляции $R_i = 0,871 - 0,957$. На основании проведенных экспериментов, отсеивания статистических коэффициентов, регрессионным методом установлено, что дозировка БАД «Пантэл» и БАД «Арабиногалактан» для производства ириса и драже функционального назначения составила 3,5 г и 8,6 г соответственно на 5 кг готовых изделий.

Список литературы / References

1. Иванкина, Н. Ф. Морфологические особенности и сравнительный анализ биологически активных веществ пантов косули и северного оленя / Н.Ф. Иванкина // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции ДальГАУ. – 2007. – С. 85 – 91.
2. Кочетков, В. Производство функциональных кондитерских изделий для различных возрастных групп / В. Кочетков, Н. Агеева, И. Аминова // Хлебопродукты. – 2007. - № 8. – С. 40 – 41.
3. Размахин, В.Е. К изучению стимулирующего действия пантокрина при максимальной физической нагрузке / В.Е. Размахин, Н.М. Киданов. – Барнаул, 1975. – № 4. – С.137 – 144.
4. Резниченко, И.Ю. Сахаристые кондитерские изделия функционального назначения: состояние рынка, методологические аспекты / И.Ю. Резниченко, А.В. Багаева, В.М. Позняковский // Кондитерское производство. – 2004. – № 2. – С. 14.
5. Решетник, Е.И. Изучение строения пищевой добавки «Лавитол–Арабиногалактан» и возможности её использования в качестве пребиотика / Е.И. Решетник, А.П. Пакушина, Е. А. Уточкина // Дальневосточный аграрный вестник. – 2010. – № 2. – С. 88-91.
6. Сатаев, Р.Р. Экспертиза БАД на основе пантовых препаратов / Р.Р. Сатаев, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // Технологические и экономические аспекты обеспечения качества продукции и услуг в торговле и общественном питании. – Кемерово, 2003. – С. 123 – 124.
7. Суханов, Б. П. Государственное регулирование в сфере оборота биологически активных добавок / Б.П. Суханов // Пищевая промышленность. – 2003. – № 6. – С. 72 – 73.
8. Фролова, Н.А. Компьютерная система оценки влияния новых компонентов в кондитерских изделиях для функционального питания / Н.А. Фролова, Е.И. Решетник // Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015. – С. 18 – 20.
9. Фролова, Н.А. Функциональная пищевая добавка вторичного сырья пантового оленеводства для обогащения кондитерских изделий / Н.А. Фролова, Е.И. Решетник, Н.Ф. Иванкина // Дальневосточный аграрный вестник. – 2013. – № 4. – С 50-53.
10. Alldrick, A.J. Functional foods: assuring quality. Functional foods: the Consumers, the Products and the Evidence / A.J. Alldrick – Cambridge: Royal society of Chemistry, 1997. – 276 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ivankina, NF. Morfologicheskiye osobennosti i sravnitel'nyy analiz biologicheskii aktivnykh veshchestv pantov kosuli i severnogo olenya [Morphological features and comparative analysis of biologically active substances of roe deer and reindeer antlers] / NF. Ivankina // Tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii Dal'GAU. [Technologies of production and processing of agricultural products in Dal'GAU]. –2007. – P. 85 – 91. [in Russian]
2. Kochetkov, V. Proizvodstvo funktsional'nykh konditerskikh izdeliy dlya razlichnykh vozrastnykh grupp [Production of functional confectionery for different age groups] / V. Kochetkov, N. Ageyeva, I. Amineva // Khlebobrodukty. [Bread products]. – 2007. - V. 8. – P. 40 – 41. [in Russian]
3. Razmakhin, V.E. K izucheniyu stimuliruyushchego deystviya pantokrina pri maksimal'noy fizicheskoy nagruzke [To study the stimulating action of pantocrinum at the maximum physical load] / V.E. Razmakhin, N.M. Kidanov. –Barnaul, 1975. [Barnaul, 1975]. – V 4. – P.137 – 144. [in Russian]
4. Reznichenko, I.Yu. Sakharistyie konditerskiye izdeliya funktsional'nogo naznacheniya: sostoyaniye rynka, metodologicheskiye aspekty [Sugar confectionery products of a functional purpose: market conditions, methodological aspects] / I.Yu. Reznichenko, A.V. Bagaeva, V.M. Poznyakovskiy // Konditerskoye proizvodstvo [Confectionery]. – 2004. – V 2. – 14 p. [in Russian]
5. Reshetnik, E.I. Izucheniye stroyeniya pishchevoy dobavki «Lavitol-Arabinogalaktan» i vozmozhnosti yeyo ispol'zovaniya v kachestve prebiotika [The study of the structure of the food additive "Lavitol–Arabinogalactan" and the possibility of its use as a prebiotic] / EI. Reshetnik, A.P. Pakusina, EA Utochkina // Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik [The Far–Eastern Agricultural Newsletter]. – 2010. –V 2. – P. 88–91. [in Russian]

6. Sataev, R.R. Ekspertiza BAD na osnove pantovykh preparatov [Expertise of dietary supplements based on pantal preparations] / R.R. Sataev, A.L. Vereshchagin, N.V. Bychin // Tekhnologicheskiye i ekonomicheskiye aspekty obespecheniya kachestva produktov i uslug v torgovle i obshchestvennom pitanii [Technological and economic aspects of ensuring the quality of products and services in trade and public catering]. – Kemerovo, 2003. – P. 123 – 124. [in Russian]

7. Sukhanov, B.P. Gosudarstvennoye regulirovaniye v sfere oborota bio- logicheskii aktivnykh dobavok [State regulation in the sphere of turnover of biologically active additives] / B.P. Sukhanov // Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry], 2003. – V 6. – P. 72 – 73. [in Russian]

8. Frolova, N.A. Komp'yuternaya sistema otsenki vliyaniya novykh komponentov v konditerskikh izdeliyakh dlya funktsional'nogo pitaniya [Computer system for assessing the impact of new components in confectionery for functional nutrition] / N.A. Frolova, E.I. Reshetnik // Tekhnologiya proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktov [Technology of production and processing of agricultural products]. – Blagoveshchensk: DalGaU, 2015. – P. 18 – 20. [in Russian]

9. Frolova, N.A. Funktsional'naya pishchevaya dobavka vtorichnogo syr'ya pantovogo olenevodstva dlya obogashcheniya konditerskikh izdeliy [Functional food additive of secondary raw material of pantdeer reindeer breeding for enriching confectionery products] / N.A. Frolova, E.I. Reshetnik, N.F. Ivankina // Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik [The Far-Eastern agrarian messenger]. – 2013. – № 4. – P. 50 – 53. [in Russian]

10. Alldrick, A.J. Functional foods: assuring quality. Functional foods: the Consumers, the Products and the Evidence / A.J. Alldrick – Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1997. – 276 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.102>

Хабибуллин Ш.М.

ORCID: 0000-0002-1543-3015, аспирант,

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова в г. Магнитогорске

ПОВЫШЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ БРОНЕЙ МЕЛЬНИЦЫ ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрено решение задачи повышения срока эксплуатации футеровки мельницы мокрого полусамомельчения (МПЦИ-70x23) из стали 110Г13Л. Приведены результаты мониторинга фактической эксплуатации футеровки и математического моделирования траектории рудно - шарового потока в мельнице, выявлены зоны интенсивного износа, дефекты отливок броней и разработаны новые конструкции элементов футеровки. С помощью программного пакета моделирования исследованы существующие литейные технологии, выявлены причины возникновения дефектов и разработаны технологии литья броней новой конструкции, исключающие образование дефектов. Показаны результаты промышленных испытаний броней новой конструкции, изготовленных по разработанным технологиям.

Ключевые слова: мельница полусамомельчения, отливка, моделирование.

Khabibullin Sh.M.¹

¹ORCID: 0000-0002-1543-3015, Postgraduate student,

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

INCREASING OPERATIONAL LIFETIME OF MILL ARMOR OF SAG

Abstract

The article considers the solution of the problem of increasing the service life of the mill liners of the wet SAG (MPSCI-70x23) made of 110G13L steel. The results of monitoring of the actual operation of mill liners and mathematical modeling of the trajectory of the ore-ball flow in a mill are presented, zones of intensive wear, and defects in castings of armor are revealed, and new designs of lining elements are developed. With the help of the simulation software package, existing casting technologies are investigated, the causes of defects are identified and technologies for casting armor of a new design that exclude the formation of defects are developed. The results of industrial tests of armor of a new design manufactured according to the developed technologies are shown.

Keywords: mill semi-autogenous grinding, casting, modeling.

Проблема повышения срока эксплуатации мельничной футеровки не нова, и окончательно не решена. Применение достижений научно – технического прогресса различных областей, способствует развитию новых методов и инструментов для решения этого вопроса, и позволяет достичь рационального и эффективного результата [1, С 173]. Решение проблемы повышения срока эксплуатации футеровки, особенно важно для фабрик, работающих по схеме полусамомельчения. Тяжелые, ударно – абразивные условия эксплуатации футеровки требуют более частую остановку мельницы для замены защитных броней. А в случае отсутствия резервной технологической нитки первой стадии, на период замены футеровки, необходимо останавливать весь производственный процесс фабрики и недополучать прибыль [2]. Увеличение продолжительности эксплуатационного ресурса футеровки мельниц позволит сократить количество и продолжительность остановок оборудования, снизить затраты на приобретение, и приведет к увеличению производительности и прибыли.

В начальный период эксплуатации мельницы Хайбуллинской обогатительной фабрики, для выявления свойств футеровок и оптимизации продолжительности межремонтного периода, были исследованы металлические футеровки, изготовленные из стали 110Г13Л.

В течение 3-х лет провели мониторинг стойкости футеровок: выполняли промежуточные осмотры, замеры, и сбор статистических данных, определяющих скорость истирания рабочих поверхностей, и характер износа профиля, с учетом объемов перерабатываемой руды и ее механических свойств.

В ходе наблюдения для каждого вида броней выявлено следующее: особенности демонтажа, средняя продолжительность эксплуатации, расположение общих, характерных зон интенсивного износа (рисунок 1, а), наличие идентичных скрытых дефектов литья (рисунок 1, б) (усадочная раковина, усадочная пористость, литейные трещины, пригар [3], [4, С. 145-161], [5, С. 46-51]), ухудшающие эксплуатационные свойства.

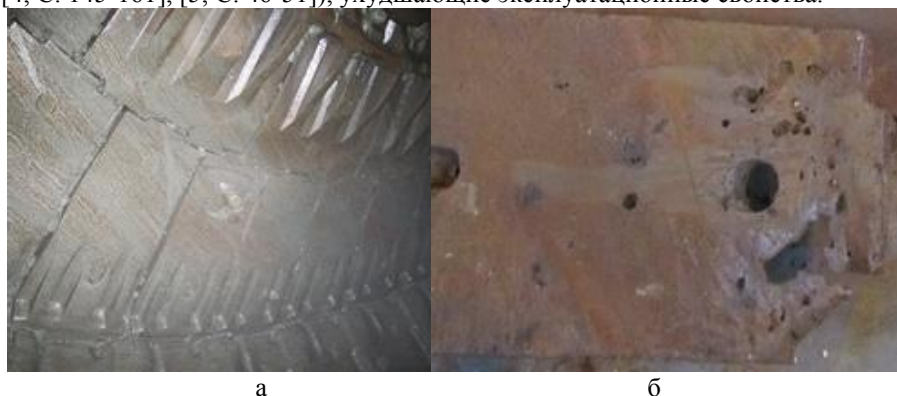


Рис. 1. – Износ броней торцевой загрузочной стенки (а) и дефекты литья (б), выявленные в результате эксплуатации

Общеизвестно, что наличие литых дефектов в отливках способно приводить к снижению их эксплуатационной стойкости. Наличие углублений и неровностей на поверхности отливки, образованных раковинами и пористостью, способствует отрыву частиц металла от тела брони и ускоряет истирание при ударно-абразивном износе, воздействующем на мельничную футеровку [6, С 104-106]. Наиболее опасными являются скрытые литые дефекты, которые нельзя исправить после производства литой детали.

Применив программный пакет ROCKY DEM Particle Simulator [7] и реальные параметры, смоделировали и визуализировали траекторию рудно - шарового потока в области торцевой загрузочной крышки и центральной части барабана (рисунки 2-а, 3-а, 4-а). Таким образом, зоны интенсивного износа обнаружили в зоне контакта максимально движущейся части рудно – шарового потока и футеровки, и расположены радиально, в области стыка внешнего и среднего рядов броней торцевой крышки, и по центральной части барабана.

Сравнение данных, полученных моделированием, с фактическим состоянием футеровки после эксплуатации, подтверждает правильность созданной модели и виртуально воссозданного процесса (рисунки 2, 3, 4).

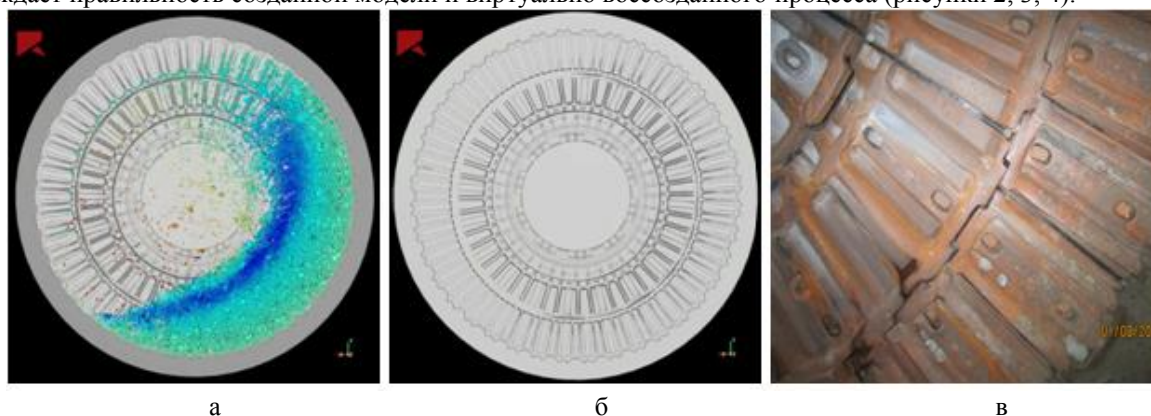


Рис. 2. – Траектория (а) и состояние броней на смоделированной (б) и фактической (в) торцевой загрузочной стенке в начальный момент эксплуатации

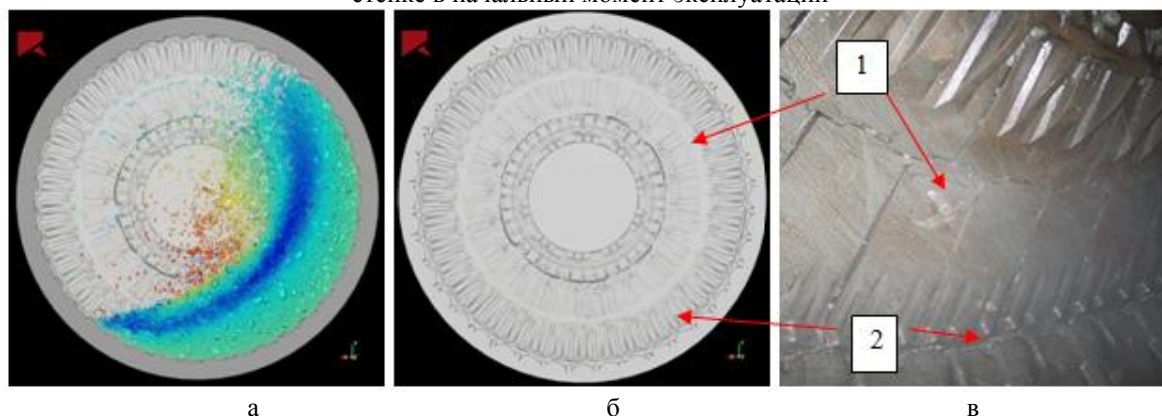


Рис. 3. – Траектория (а) и зоны износа на смоделированной (б) и фактической (в) торцевой загрузочной стенке после эксплуатации: 1 – зона максимального износа; 2 – зона минимального износа броней

Полученное расположение зон максимального износа броней торцевой крышки и барабана, при сопоставлении идентично положению этих зон в реально действующей мельнице.

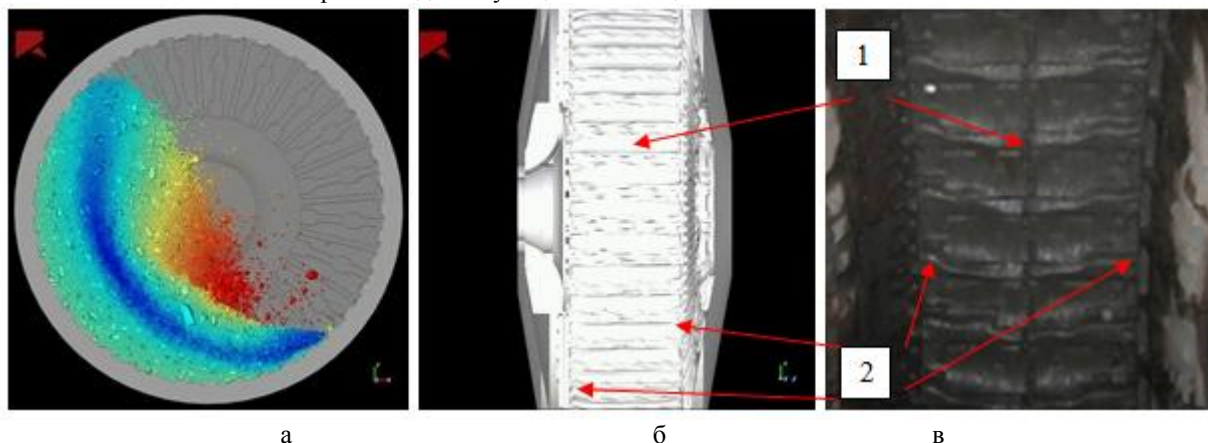


Рис. 4. – Траектория (а) и зоны износа на смоделированной (б) и фактической (в) футеровке барабана после эксплуатации: 1 – зона максимального износа; 2 – зона минимального износа броней

Малоизнашиваемые участки являются конструкционным балластом, увеличивая общую массу футеровки. Поэтому за счет перераспределения малоизнашиваемой части металла в зону максимального износа, и уменьшив высоту лифтеров футеровки внутреннего ряда, были разработаны новые конструкции броней торцевой загрузочной крышки и барабана.

Промышленные испытания экспериментального комплекта броней разработанной конструкции, в условиях действующего производства, показали увеличение периода эксплуатации на 30,7 % по сравнению с бронями базовой конструкции. Однако при осмотрах, в процессе эксплуатации и постепенного износа рабочей поверхности броней, в отливках так же выявлены скрытые усадочные раковины и пористость. Характер и положение этих дефектов идентичны дефектам, выявленным при эксплуатации базового комплекта броней (рисунок 1, а). Это подтвердило необходимость изучения существующей литейной технологии и структуры металла в отливках, для разработки новой технологии литья броней, исключающей возникновение дефектов.

Для анализа, существующей в литейном цехе технологии, используя отечественную программу трехмерного моделирования CAE LVM Flow, смоделировали процессы заливки и кристаллизации отливок «Броня торцевая средняя» и «Броня торцевая внешняя». В этой программе для прогнозирования пористости в отливках стандартно включен расчет безразмерного критерия Ниямы (Ny). Его используют для предсказания усадочной пористости, возникновение которой зависит от питания двухфазной зоны [8].

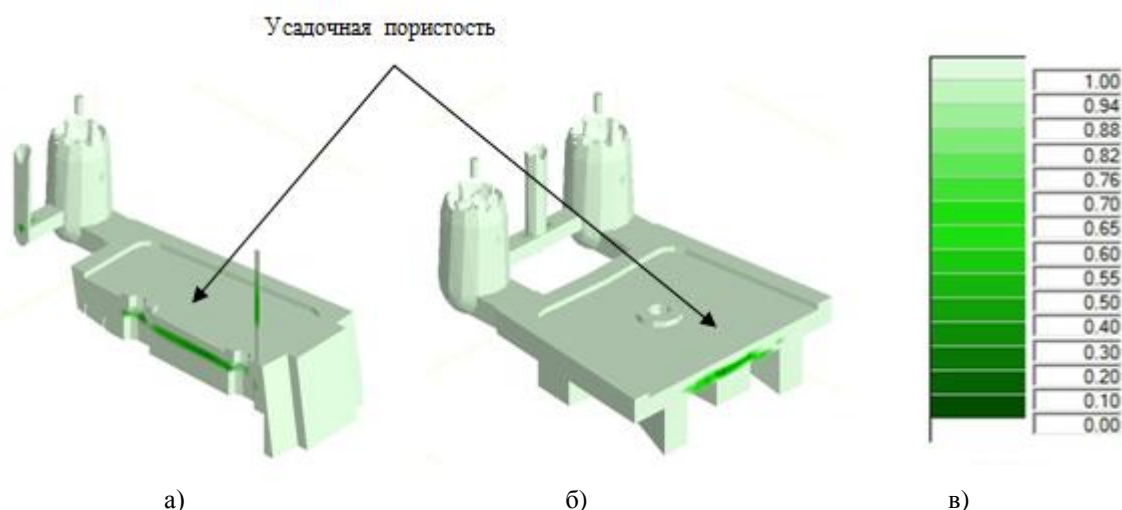


Рис. 5. – Усадочная пористость на модели отливки «Броня торцевая средняя» (а) (б) и шкала критерия Ниямы (в)

На представленном рисунке 5 видно, что критерий Ниямы в средней части может варьироваться от 0,20 до 0,55 единиц, указывая на наличие несплошности в теле отливки, изготовленной по существующей технологии. Кроме того, следует отметить, что чем меньше критерий Ниямы, тем более ярко выражена в процентном отношении микропористость отливки.

Учитывая результаты моделирования существующей литейной технологии, предложено и смоделировано по два варианта литья для каждого вида броней, с различным расположением литниково – питающей системы. Анализ каждого из смоделированных вариантов показал, что предложенные технологии могут обеспечить отсутствие несплошностей (скрытых усадочных раковин, пористости) в исследуемых отливках. Так же, в процессе компьютерного моделирования существующей и предложенных литейных технологий были составлены компьютерные топографии усадочной пористости в продольном сечении брони, численно выраженные в виде критерия Ниямы. В качестве примера на рисунке 6 графически представлена топография усадочной пористости в отливке «Броня торцевая средняя».

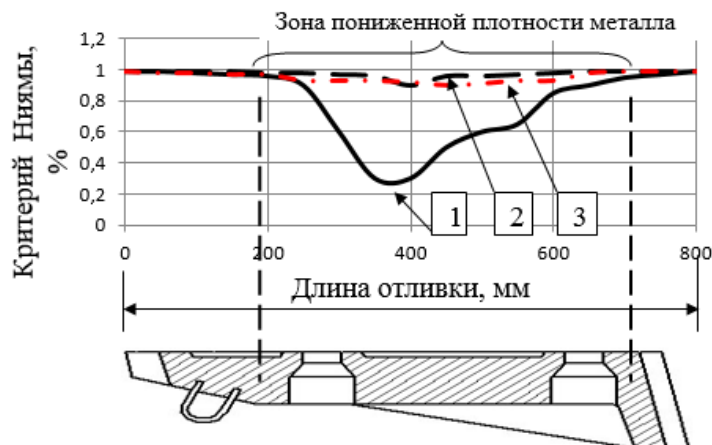


Рис. 6 – Сравнительная топография усадочной пористости в отливке «Броня торцовая средняя»: 1 – существующая технология; 2 – предложенная технология (вариант № 1); 3 – предложенная технология (вариант № 2)

На рисунке 6 видно, что зона повышенной микропористости расположена в центральной части отливки, и может быть причиной преждевременного изнашивания детали в процессе эксплуатации. С целью более корректной оценки данных, сравнили полученные результаты с характером износа выведенной из эксплуатации брони. Сопоставление положений зоны пористости, определенное на топографии с помощью критерия Ниямы, и зоны фактической пористости в отливке подтверждает их идентичность. Аналогичную картину наблюдали и для отливок «Броня торцовая внешняя»

Анализ полученных после моделирования результатов показал, что предложенные технологии могут обеспечить отсутствие несплошностей (скрытых усадочных раковин, пористости) в исследуемых отливках [9]. Кроме того, некоторые из предложенных вариантов позволяют получать такой же уровень технологического выхода годного, каким он был до изменения технологии производства «Броней торцовых». Сравнительная гистограмма значений технологического выхода годного различных вариантов литейных технологий представлена на рисунке 7.

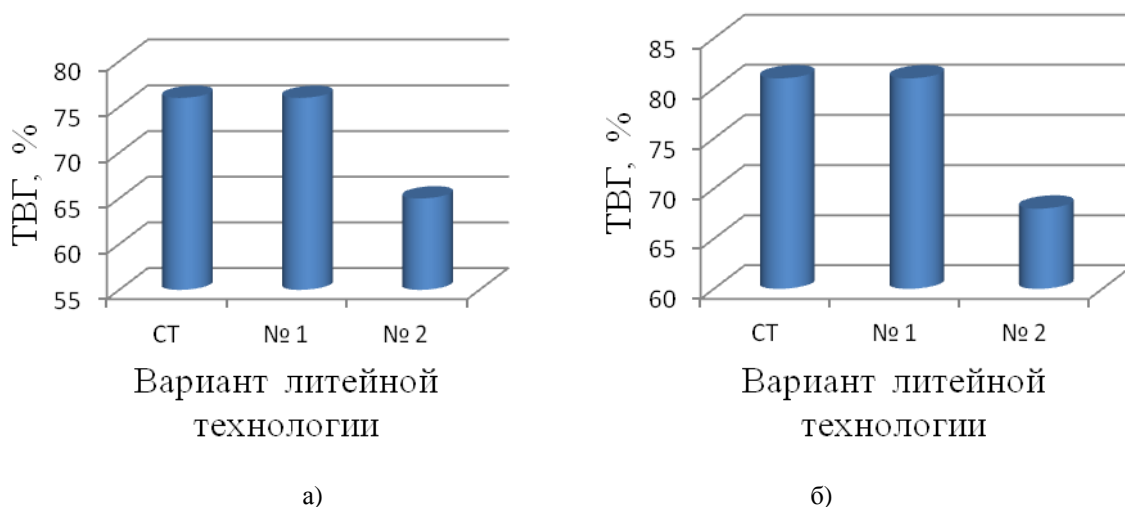


Рис. 7. – Сравнительные гистограммы технологического выхода годного различных вариантов технологий: а – «Броня торцовая средняя»; б – «Броня торцовая внешняя»
СТ – существующая технология; № 1 – Вариант № 1; № 2 – Вариант № 2

Для объективности и достоверности полученных теоретических выводов по скорректированным технологиям с легкоотделяемой прибылью, отлили опытные образцы броней и провели металлографический анализ макро – и микроструктуры различных частей отливок [10]. После проведения финишных операций (очистки от пригара, удаление элементов литниково-питающей системы и термообработки), каждую отливку порезали по зонам тепловых узлов (рисунок 8). Дефектов в отливках, полученных по новой литейной технологии, не обнаружили, вырезав темплеты (рисунок 8, в). Кроме того, осуществили ультразвуковой контроль, который так же не показал дефектов.

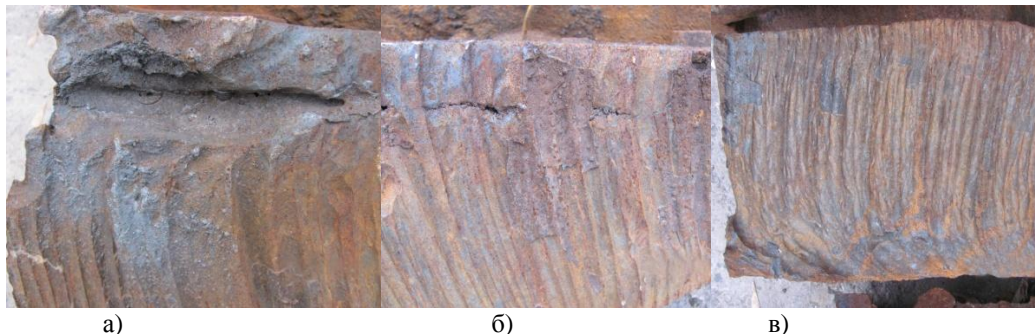


Рис. 8. – Зоны отливки для исследования: а - усадочная раковина; б - усадочная пористость; в - плотный металл

Для практического подтверждения результатов, полученных в ходе работы, были проведены эксплуатационные испытания опытной партии броней новой конструкции, изготовленных по разработанным технологиям литья.

В течение года, эксплуатационные испытания опытных образцов проводили в мельнице первой стадии измельчения МПСИ-70х23, в условиях действующего производства Хайбуллинской обогатительной фабрики. Выполнение работ по монтажу и демонтажу произведено без трудностей. Условия соответствия габаритных и посадочных размеров опытных образцов выполнено.

В результате проведенных испытаний период эксплуатации броней составил 2280 ч. Это на 46,1 % больше продолжительности эксплуатационного периода футеровки базовой конструкции.

Таким образом, усовершенствование конструкции броней привело к увеличению эксплуатационного периода на 30,7 %, а разработка литейной технологии позволила изготовить качественные отливки и повысить срок эксплуатации еще на 15,4 %.

Увеличение срока эксплуатации броней позволило скорректировать в сторону увеличения производственные планы, сократить количество приобретаемых за год комплектов футеровки и время простоя фабрики.

Годовая экономия внедрения в производство фабрики на приобретение футеровки составляет более 10,5 млн. рублей (75 тонн литья).

Список литературы / References

1. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц / Д.К. Крюков // М. 1965. 182 с.
2. Liners for the Grinders / Written by E&MJ News [Электронный ресурс]: URL: <http://www.e-mj.com>, // Published: Tuesday, 08 June 2010 15:04 (дата обращения 22.05.2017).
3. Вдовин К.Н. Исследование процесса эксплуатации литых броней из стали марки 110Г13Л в мельнице МПСИ - 70Х23 / Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. // Литейные процессы. - 2013. - № 12. - С. 8-11.
4. Воронин Ю.Ф. Атлас литейных дефектов. Черные сплавы / Ю.Ф. Воронин, В.А. Камаев; - М: Машиностроение-1, - 2005. - 330 с.
5. Лакедемонский А.В. Литейные дефекты и способы их устранения / А.В. Лакедемонский, Ф.С. Кваша, Я.И. Медведев и др. - М.: Машиностроение, - 1972. — 152 с.
6. Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебник для высш. технич. учебн. заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева; - 3 – е изд., перераб. доп. – М: Машиностроение, - 1990. – 528 с.
7. Моделирование динамики частиц методом DEM / [Электронный ресурс]: URL: <http://www.rocky-dem.ru/mills/> (дата обращения 17.08.2016).
8. KENT D. CARLSON Прогнозирование объемной доли усадочной пористости с использованием безразмерного критерия НИЯМЫ / KENT D. CARLSON, CHRISTOPH BECKERMANN [Электронный ресурс]: URL: http://www.castsoft.ru/Articles/PDF/CarlsinBeckermann_Niyama.pdf (дата обращения 22.10.2017).
9. Вдовин К.Н. Совершенствование технологии производства литых броней из стали марки 110Г13Л для мельницы МПСИ-70Х23 / Вдовин К.Н., Хабибуллин Ш.М. // Литейщик России. - 2014. - № - 1. - С. 13-15.
10. Вдовин К.Н. Отработка технологии производства и исследование качества литых броней с применением методов неразрушающего контроля / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин // Литейные процессы. - 2014. - № 13. - С. 75-82.

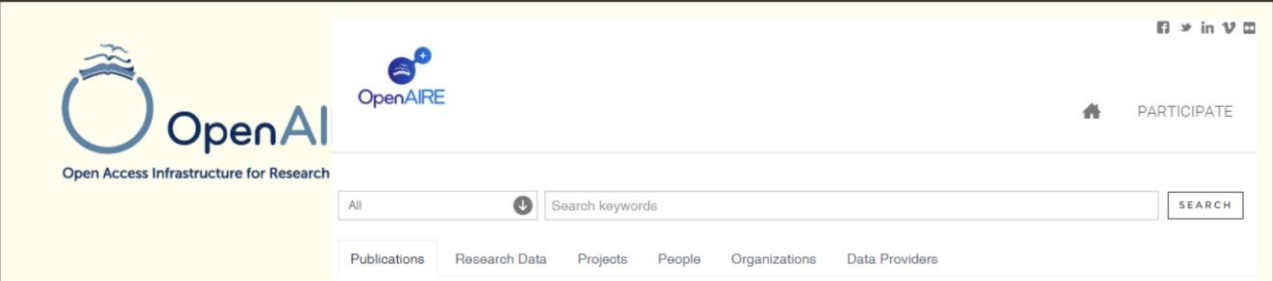
Список литературы на английском языке / References in English

1. Krjukov D.K. Futerovki sharovyh mel'nic [Lining ball mills] / D.K. Krjukov // M. 1965. 182 p. [in Russian].
2. Liners for the Grinders / Written by E&MJ News [Electronic resource] URL: <http://www.e-mj.com>, // Published: Tuesday, 08 June 2010 15:04 (accessed 22.05.2017).
3. Vdovin K.N. Issledovanie processa jekspluatatsii lityh bronej iz stali marki 110G13L v mel'nice MPSI - 70H23 [The study of the process of operation cast armor of 110G13L grade steel in the SAG mill - 70X23] / K.N. Vdovin, N.A. Feoktistov, Sh.M. KHabibullin // Litejnye processy [Casting processes]. - 2013. - № 12. - P. 8-11. [in Russian]
4. Voronin Ju.F. Atlas litejnyh defektov. Chernye splavy [Atlas of casting defects. Black alloys] / Ju.F. Voronin, V.A. Kamaev; - M: Mashinostroenie-1, - 2005. - 330 P. [in Russian]
5. Lakedemoniskiy A.V. Litejnye defekty i sposoby ih ustraneniya [Casting defects and methods of their elimination] / A.V. Lakedemoniskij, F.S. Kvasha, Ja.I. Medvedev and others; M.: Mashinostroenie, - 1972. — 152 P. [in Russian]
6. Lahtin Ju.M. Materialovedenie: uchebnik dlja vyssh. tehnic. uchebn. zavedenij [Materials: the textbook for higher technical educational institutions] / Ju.M. Lahtin, V.P. Leont'eva; - 3 nd edition.—M.: Mashinostroenie, - 1990. – 528 P. [in Russian]
7. Modelirovanie dinamiki chastic metodom DEM / [Electronic resource] URL: <http://www.rocky-dem.ru/mills/> (accessed 17.08.2016).

8. KENT D. CARLSON Prognostirovanie obshchego doli usadochnoj poristosti s ispol'zovaniem bezrazmernogo kriterija NIJaMY [Development of Thermophysical Property Datasets, Benchmark Niyama Results, and A Simulation Qualification Procedure] [Electronic resource] / Kent D. Carlson and Christoph Beckermann1 // URL: http://www.castsoft.ru/Articles/PDF/CarlsinBeckermann_Niyama.pdf (accessed 22.10.2017).

9. Vdovin K.N. Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva lityh broney is stali marki 110G13L dlya melnicy MPSI-70x23 [Improvement of technology of production of cast armor of 110G13L grade steel for SAG mill-70X23] / Vdovin K.N., Khabibullin Sh.M. // Liteychik Rossii [Russian Foundryman]. - 2014. - № 1. - P. 13 - 15. [in Russian]

10. Vdovin K.N. Otrabotka tehnologii proizvodstva i issledovanie kachestva lityh broney s primeneniem metodov nerasrushayuchego kontrolya, [Development of production technology and research of quality of cast armor with the use of NDT methods] / Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Khabibullin Sh.M. // Liteynye processy [Casting processes]. - 2014. - № 13. - P. 75 - 82. [in Russian]



«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.

OpenAIRE — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRYDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.136>Апалев П.В.¹, Азаев М.Ш.², Лебедев Л.Р.³¹Аспирант, ²доктор биологических наук, доцент, ³доктор медицинских наук,

Институт медицинской биотехнологии Федерального бюджетного учреждения науки Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, Бердск, Новосибирская обл., Россия

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ИММОБИЛИЗАЦИИ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА *BACILLUS SUBTILIS* НА ХИТОЗАНЕ**Аннотация**

Исследованы способы активации матрицы – высокомолекулярного хитозана для последующей иммобилизации ферментов протеолитического комплекса из *Bacillus subtilis*. Для реакции активации использовались бензохинон, глутаровый альдегид и эпихлоргидрин. Показано, что применение для активации глутарового альдегида в технологии позволяет получать препараты иммобилизованных ферментов с более высокой удельной активностью и меньшими потерями. Выбраны технологические параметры синтеза препаратов иммобилизованных протеаз.

Ключевые слова: иммобилизация, хитозан, протеолитическая активность.

Apalev P.V.¹, Azayev M.Sh.², Lebedev L.R.³¹Postgraduate student, ²PhD in Biology, Associate professor, ³MD,

Institute of Medical Biotechnology of Federal Budgetary Institution of Science of State Research Center for Virology and Biotechnology "Vector" Rospotrebnadzor, Berdsk, Novosibirsk Region, Russia

COMPARISON OF IMMOBILIZATION METHODS OF PROTEOLITIC *BACILLUS SUBTILIS* COMPLEX ON CHITOSAN**Abstract**

The methods of activation of the matrix - high molecular weight chitosan for subsequent immobilization of enzymes of a proteolytic complex from *Bacillus subtilis* are investigated. Benzoquinone, glutaraldehyde and epichlorohydrin are used for the activation reaction. It is shown that the use of glutaraldehyde in the technology for the activation of the technology allows obtaining preparations of immobilized enzymes with a higher specific activity and lower losses. The technological parameters of synthesis of preparations of immobilized proteases were chosen.

Keywords: immobilization, chitosan, proteolytic activity.

Препараты, содержащие хитозан, применяются для лечения ран и ожогов [1], [2]. Хитозан способен стимулировать регенерацию кожи, регулируя пролиферацию фибробластов. Его бактерицидные свойства обусловлены способностью взаимодействовать с клеточной стенкой микроорганизмов [3]. Препараты на основе протеаз также используются для лечения гнойных ран в медицине и ветеринарной практике [4], [5]. Показано, что протеолитические ферменты обладают значительным противовоспалительным и противоотечным действием [6]. Представляет интерес разработка нового терапевтического средства, объединяющего два действующих начала – бактерицидный и ранозаживляющий эффекты, в одной композиции.

Наличие реакционно-способных функциональных групп в молекуле хитозана позволяет получать его конъюгаты с другими молекулами. Известны методы активации хитозана с применением глутарового альдегида, бензохинона, гидрохлорида этил (3-деметиламинопропил) карбодиимида, эпихлоргидрина для последующей иммобилизации различных ферментов [7]. При этом, получаемые по разным технологиям препараты, различаются по удельной активности иммобилизованных ферментов. При создании технологии производства комплексного препарата необходимо определить экономически наиболее эффективный метод его синтеза.

Целью исследования являлось сравнение методов иммобилизации комплекса протеаз из *Bacillus subtilis* на нерастворимой матрице - высокомолекулярном хитозане, для разработки технологии получения нового препарата с более высоким удельным содержанием ферментов.

Экспериментальная часть

В работе применяли: препарат «Протосубтилин ГЗХ», ТУ 9291-029-13684916-2010 («Сиббиофарм»), порошок высокомолекулярного хитозана («Апифарм» или ЗАО Биопрогресс, Щёлково). Активность нейтральной протеазы определяли по методу Ансона [8], используя в качестве субстрата 2%-ый раствор казеина.

Уровень деацетилирования молекул хитозана определяли методом потенциометрического титрования [9]. В работе использовали: сорбент акрилекс Р-15 (Reanal, Венгрия), стеклянные фильтры (ПОР-16, ГОСТ 25336-82), эпихлоргидрин (Merk, Германия), отечественные реактивы (бензохинон, глутаровый альдегид, соли) квалификации «х.ч.».

Очистка ферментного комплекса для иммобилизации. Процедуру проводили аналогично как описано в работе Азаева М.Ш. [7]. По 7,5 г препарата «Протосубтилин ГЗХ» растворяли в 30 мл 0,05 М натрий-фосфатного буфера, рН 7,6 (буфер А) в течение 10 - 15 мин. После удаления нерастворившихся компонентов центрифугированием (8000g, 20 мин) к надосадочной фракции добавляли 2 мл раствора хлористого кальция до конечной его концентрации 0,02 М при перемешивании. Через 15 - 20 мин сформировавшийся осадок удаляли центрифугированием. Для удаления из раствора ферментов низкомолекулярных окрашенных компонентов и солей проводили гель-хроматографию на колонке (75 мл) с акрилексом Р-15, используя буфер А. Получали по 30-32 мл комплекса протеолитических ферментов, содержащих по 185-200 мг белка с суммарной активностью нейтральной протеазы 720-780 ед. акт.

Активация хитозана. Для активации бензохиноном и глутаровым альдегидом четыре порции по 3 г порошка хитозана помещали на ночь в воду, затем на фильтрах промывали 0,2 М натрий-фосфатным буфером; рН 7,8 (буфер Б). Каждый образец суспендировали в 20 мл буфера Б.

К первым двум вносили 1 и 4 мл 25%-ого раствора глutarового альдегида (2,5 и 10 мМ) и перемешивали 5 ч при комнатной температуре. Ко вторым двум образцам добавляли по 2 мл 50%-ного раствора этанола, содержащего бензохинон, 0,25 и 1,1 г (2,5 и 10 мМ) и также перемешивали. Образцы активированного хитозана промывали буфером Б на фильтрах.

При активации с помощью эпихлоргидрина два образца хитозана (по 3 г), отмытые водой, суспендировали в 20 мл 0,5 Моль/л NaOH, содержащих по 50 мг боргидрида натрия. К первому добавляли 0,2 мл эпихлоргидрина, ко второму – 1 мл (2,5 и 10 мМ). После перемешивания в течение 5 ч при комнатной температуре образцы промывали буфером Б.

Иммобилизация ферментного комплекса. Каждую порцию активированной матрицы вносили в 10 мл раствора фермента (по 250 ед.акт. нейтральной протеазы). Инкубацию проводили 18 ч при температуре 6-8° С и слабом перемешивании на качалке. Полученные иммобилизованные комплексы последовательно промывали на стеклянных фильтрах растворами: 0,1 М Трис-HCl, pH 7,6. 0,5 М натрий-фосфат, pH 7,4 и раствором 0,01 М Трис-HCl, pH 7,4, содержащим 0,9%-ый NaCl. Количества иммобилизованного белка оценивали по разнице значений между исходным содержанием и суммарным белком в промывных жидкостях.

Изучение ранозаживляющего действия исследовали на модели термического ожога, по авторской методике Яковлевой Л.В. [10]. В эксперименте использовали крыс обоего пола линии Вистар массой 250–300 г по 6 животных в группе. Все работы с животными проводили строго в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденным Приказом МЗ СССР № 755 от 12.08.77 г., а также с положениями «Европейской конвенции по защите позвоночных, используемых для экспериментальных и иных научных целей» [11].

На выстриженном участке спины размером 3 x 3 см² под барбитуровым наркозом (50 мг/кг, внутривенно) у животных вызывали термический ожог. Животных распределяли на две опытных группы. Крысам первой группы ожоговую рану лечили ежедневными аппликациями комплекса, полученного при использовании глutarового альдегида, крысам второй – аппликациями хитозана. Для аппликации использовали дозы из расчета 1 г влажного хитозана на 5 см² раневой поверхности. Состояние раны регистрировали, проводя измерение ее площади, прикладывая к ране прозрачный трафарет. Общее состояние животных оценивали на основании поведенческих реакций, аппетита и массы тела.

Полученные цифровые данные обрабатывали статистически с использованием критерия Стьюдента [12. С.889-928] и с помощью пакета компьютерных программ «Statistica 6,0» (StatSoft Inc. 1984-2001). Результаты представляли как среднее значение ± стандартное отклонение (M±S_M).

Результаты и их обсуждение

Хитозан представляет собой α -(1-4)-2-амино-2-дезоксид-Д-гликополисахарид, т.е. является аминополисахаридом, полученным при удалении части ацетильных групп из положения С2 в хитине (рис.1).

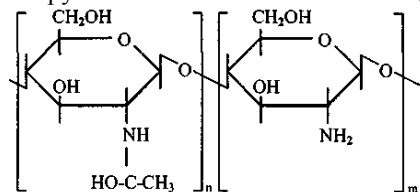


Рис. 1 – Структурная формула частично деацетилизованного хитина

Степень деацетилирования используемого хитозана, определенная экспериментально, составляла 84-86%.

В эксперимент брали образцы по 3 г хитозана, что составляло по 15 мМ деацетилированных мономеров в каждом образце. Для активации хитозана использовали обработку его: 1) глutarовым альдегидом (2,5 и 10 мМ), 2) бензохиноном (2,5 и 10 мМ) и 3) эпихлоргидрином (2,5 и 10 мМ), как описано в экспериментальной части. Для иммобилизации использовали одинаковые количества раствора очищенного протеолитического комплекса. Полученные образцы иммобилизованных ферментов оценивались по массе и активности нейтральной протеазы (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость активности иммобилизованных протеаз от способа активации образцов хитозана.

| Метод активации | Масса влажного комплекса | Активность нейтральной протеазы, ед.акт./г влажной массы | Суммарная активность иммобилизованной нейтральной протеазы, ед.акт |
|------------------------------------|--------------------------|--|--|
| Глutarовый альдегид (2,5 мМ) (n=3) | 10,0±0,5 | 13,3±0,6 | 133±6* |
| Глutarовый альдегид (10 мМ) (n=5) | 10,0±0,5 | 16,8±0,8 | 168±8* |
| Бензохинон (2,5 мМ) (n=3) | 10,0±0,5 | 9,8±0,5 | 98±5 |
| Бензохинон (10 мМ) (n=5) | 10,0±0,5 | 10,8±0,6 | 108±6 |
| Эпихлоргидрин (2,5 мМ) (n=3) | 9,5±0,5 | 8,3±0,4 | 79±4 |
| Эпихлоргидрин (10 мМ) (n=3) | 9,4±0,5 | 9,2±0,5 | 86±5 |

Примечание: n – количество экспериментов

Символом (*) обозначены значения, статистически значимо отличающиеся от контроля (т.е. значений, полученных при активации бензхиноном и эпихлоргидрином (t test; $P < 0,05$)).

Из данных таблицы 1 видно, что при активации хитозана бензохиноном и эпихлоргидрином в условиях эксперимента удельная активность иммобилизованного протеолитического комплекса ниже, чем при активации с использованием глутарового альдегида. Это может быть связано как с неполной иммобилизацией белка, так и со снижением активности иммобилизованного фермента. Снижение массы комплекса при активации эпихлоргидрином можно объяснить частичным гидролизом молекул хитозана при его инкубации в щелочной среде. При соотношении в реакции глутарового альдегида 10 мМ на 15 мМ деацетилованных групп хитозана белок практически полностью переходил в иммобилизованное состояние и удельная активность нейтральной протеазы отмечалась до 17 ед.акт./г влажной массы. Активность иммобилизованного фермента сохранялась до 70% (170 ед.акт. от исходных 250).

После хранения в термостате при 37° С в течение 5 суток иммобилизованные ферменты сохраняли свою активность до 90%, что свидетельствует о прочности связи белка и молекул хитозана через аминокгруппу последних.

Изучение ранозаживляющих свойств комплекса с активностью нейтральной протеазы 17 ед.акт./г влажной массы исследовали на модели термического ожога у крыс. В группе сравнения использовали влажный хитозан, промытый водой и 0,01 М раствором Трис-НСl, pH 7,4, содержащим 0,9%-ый NaCl. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Площадь раневой поверхности после термического ожога и последующего лечения, мм²

| Количество аппликаций | Комплекс (n=6) | Хитозан (n=6) | Контроль, без лечения (n=6) |
|-----------------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| Первый день | 134±28 | 142±28 | 120±23 |
| 5 аппликаций | 45±7 | 60±10 | 62±12 |
| 10 аппликаций | 3±3* | 3±2* | 26±5 |
| 15 день | 0 | 0 | 8±3 |

Примечание: n – количество животных в группе.

Символом (*) обозначены значения, статистически значимо отличающиеся от контроля (t test; $P < 0,05$).

По значениям в таблице 2 видно, что поверхности ран у животных, которым проводили лечение комплексом протеаз, иммобилизованных на хитозане и хитозаном, достоверно отличается от результатов контрольной группы. Это свидетельствует о клинически более значимом эффекте данного комплекса. Наличие протеаз в комплексе предполагает ускоренное очищение и заживление ран, осложненных гнойными процессами, по сравнению с применением традиционной матрицы - хитозана.

Окончательное заживление ран у животных контрольной группы закончилось на 20±1 день эксперимента с образованием грубых рубцов, которые рассасывались достоверно медленнее (6±1 день), чем в опытных группах (2±1 дня). И комплекс и его основа – хитозан, не вызывали изменений в двигательных реакциях крыс, не оказывали видимого токсического действия на организм животных в период наблюдения.

Выводы. Исследованы способы активации хитозана бензохиноном, глутаровым альдегидом и эпихлоргидрином. Показано, что в условиях эксперимента наиболее оптимален первый способ активации для получения комплекса с большей удельной активностью (16,8±0,8 ед.акт./г влажной массы) и выходом по иммобилизованной протеазе (до 70%).

Экспериментально выбраны параметры технологического процесса получения комплекса протеолитических ферментов из *Bacillus subtilis*, иммобилизованного на высокомолекулярном хитозане. Полученная субстанция может использоваться при разработке терапевтических препаратов для лечения ожогов и гнойных ран в форме мазей или гелей.

Список литературы/References

- Федосов П.А. Изучение ранозаживляющего действия геля на основе хитозана с таурином и аллантоином / Федосов П.А., Сливкин А.И., Николаевский В.А. и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 572.
- Гладкова Ю.К. Хитозан – свойства и перспективы применения // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2015. – Т. 5. – № 6. – С. 974.
- Rabea E.I. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action / Rabea E.I., Badawy M.E., Stevens C.V., et al. // Biomacromolecules. – 2003. – № 4(6). – Р. 1457–1465.
- Ниязов Б.С. Современные представления о лечении гнойных ран / Б.С. Ниязов, Н.К. Абдылдаев, О.Р. Динлосан, С.Б. Ниязова // В сборнике: Материалы 3-ей междунар. заочной науч.-практ. конф. «Научный форум: медицина, биология и химия». – М., Изд. «МЦНО», 2017. – С. 38–49.
- Гуменная Е.Ю. Сравнительная терапевтическая эффективность протеолитических препаратов при гнойно-некротических заболеваниях у собак // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2003. – № 2 (2). – С. 103–105.
- Имозимаза – новый высокоэффективный препарат для лечения гнойно-воспалительных заболеваний у животных и человека [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bionet.nsc.ru/booklet/Rus/RusApplied/RazrabotkaImozimazaRus.html> (дата обращения 10.12.2017).
- Азаев М.Ш. Субстанция протеолитического фермента на основе протосубтилина гзх, иммобилизованного на хитозане, и композиция для лечения гнойно-некротических ран / Азаев М.Ш., Волосникова Е. А., Лебедев Л. Р. // Патент России № 2630668. – 2017. – Бюл. № 26.
- ГОСТ 20264.2-88 Препараты ферментные. Методы определения протеолитической активности.
- Кучина Ю.А. Инструментальные методы определения степени деацетилирования хитина / Кучина Ю.А., Долгопяткова Н.В., Новиков В.Ю. и др. // Вестник МГТУ. – 2012. – Т. 15. – №1. – С 107–113.

10. Яковлева Л. В. Фармакологическое изучение новой ранозаживляющей мази "Пролидоксид" / Л. В. Яковлева, С. С. Кальф-Калиф, О. В. Ткачева // Провизор. – 1999. – № 1. – С. 44–45.
11. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123). – Страсбург. – 18 марта 1986 г.
12. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая / Ред. кол.: Миронов А.Н., Бунятян Н.Д., Васильев А.Н. и др. – М.: Гриф и К, 2012. – 944 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedosov P.A. Izucheniye ranozazhivlyayushchego deystviya gelya na osnove khitozana s taurinom i allantoinom [Study of Wound Healing Effect of Chitosan-based Gel with Taurine and Allantoin] / Fedosov P.A., Slivkin A.I., Nikolaevsky V.A. and others. Modern problems of science and education. - 2015. - No. 4. - P. 572. [In Russian]
2. Gladkova Yu.K. Khitozan – svoystva i perspektivy primeneniya [Chitosan - Properties and Prospects of Application] // Bulletin of medical Internet conferences. - 2015. - V. 5. - No. 6. - P. 974. [In Russian]
3. Rabea E.I. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action / Rabea E.I., Badawy M.E., Stevens C.V., et al. // Biomacromolecules. – 2003. – No. 4(6). – P. 1457–1465.
4. Niyazov B.S. Sovremennyye predstavleniya o lechenii gnoynykh ran [Modern Ideas About Treatment of Purulent Wounds] / B.S. Niyazov, N.K. Abdylbaev, O.R. Dinlosan, S.B. Niyazova // Collection: Materials of 3rd international. extramural scientific conf. "Scientific forum: medicine, biology and chemistry". - M., Ed. "MCNO", 2017. - P. 38-49. [In Russian]
5. Gumenaya E.Yu. Sravnitel'naya terapevticheskaya effektivnost' proteoliticheskikh preparatov pri gnoyno-nekroticheskikh zabolevaniyakh u sobak [Comparative Therapeutic Effectiveness of Proteolytic Drugs in Purulent-necrotic Diseases in Dogs] // Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. - 2003. - No. 2 (2). - P. 103-105. [In Russian]
6. IMOZIMAZA - novyy vysokoeffektivnyy preparat dlya lecheniya gnoyno-vospalitel'nykh zabolevaniy u zhivotnykh i cheloveka [IMOZIMASE - New Highly Effective Drug for Treating Purulent-inflammatory Diseases in Animals and Humans] [Electronic resource]. Access mode: <http://www.bionet.nsc.ru/booklet/Rus/RusApplied/RazrabotkiImozimazaRus.html> (reference date 10.12.2017). [In Russian]
7. Azayev M.Sh. Substantsiya proteoliticheskogo fermenta na osnove protosubtilina gzhk, immobilizovannogo na khitozane, i kompozitsiya dlya lecheniya gnoyno-nekroticheskikh ran [Substance of Proteolytic Enzyme Based on Protosubtilin Zinc Immobilized on Chitosan and Composition for Treatment of Purulent Necrotic Wounds] / Azaev M.Sh., Volosnikova E.A., Lebedev L.R. // Patent of Russia No. 2630668. - 2017. - Bul. No. 26. [In Russian]
8. GOST 20264.2-88 Preparaty fermentnyye. Metody opredeleniya proteoliticheskoy aktivnosti. reparations Enzymatic. Methods for Determining Proteolytic Activity] [In Russian]
9. Kuchina Yu.A. Instrumental'nyye metody opredeleniya stepeni deatsetilirovaniya khitina [Instrumental Methods for Determining Degree of Deacetylation of Chitin] / Kuchina Yu.A., Dolgopyatova N.V., Novikov V.Yu. and others. // Bulletin of the Moscow State Technical University. - 2012. - V. 15. - No.1. - P. 107-113.
10. Yakovleva L.V. Farmakologicheskoye izucheniye novoy ranozazhivlyayushchey mazi "Prolidoksid" [Pharmacological Study of New Wound Healing Ointment "Prolidoksidum"] / L.V. Yakovleva, S.S. Kalf-Kalif, O.V. Tkacheva // Pharmacist. - 1999. - No. 1. - P. 44-45. [In Russian]
11. Yevropeyskaya konventsiya o zashchite pozvonochnykh zhivotnykh, ispol'zuyemykh dlya eksperimentov ili v inyykh nauchnykh tselyakh [European Convention for Protection of Vertebrates Used for Experimental or Other Scientific Purposes (ETS No. 123).] - Strasbourg. - March 18, 1986. [In Russian]
12. RUKOVODSTVO PO PROVEDENIYU DOKLINICHESKIKH ISSLEDOVANIY LEKARSTVENNYKH SREDSTV. CHAST' PERVAYA [Guidelines for Preclinical Drug Research. Part One] / Ed. Kol.: Mironov A.N., Bunyatyan N.D., Vasiliev A.N. and others - M.: Grief and K, 2012. - 944 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.137>Бурюкин Ф.А.¹, Лесик Е.И.², Буза А.О.³, Полозова Ю.А.⁴¹Кандидат химических наук, доцент, ²Кандидат химических наук, доцент, ³Аспирант,^{1,2,3}Сибирский Федеральный университет⁴Инженер-химик,

Лаборатория физико-химических исследований Пяяхинского месторождения,

Территориально-производственное предприятие «Ямалнефтегаз» ООО «Лукойл-Западная Сибирь»

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ИНГИБИТОРОВ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ГИДРОПЕРЕКИСИ ПИНАНА**Аннотация**

Показана необходимость повышения качества моторных топлив посредством введения присадок. Выявлена актуальность разработки новых антиоксидантов и определения их эффективности. Представлено описание механизма окисления углеводородов. На примере модельного вещества (гидроперекиси пинана) проведены экспериментальные исследования кинетики его разложения в присутствии ингибиторов пероксидных реакций. Установлено, что все изучаемые ингибиторы существенно, с разной степенью активности, повышают стабильность модельного вещества.

Ключевые слова: ингибитор, антиоксидант, антиокислительные присадки, моторное топливо, гидроперекись пинана.

Buryukin F.A.¹, Lesik E.I.², Buza A.O.³, Polozova Yu.A.⁴¹PhD in Chemistry, Associate professor, ²PhD in Chemistry, Associate professor, ³Postgraduate student,^{1,2,3}Siberian Federal University,⁴Engineer-chemist, Laboratory of Physical and Chemical Research, Pyakyakhinsk Field,

Yamalneftegaz Territorial Production Enterprise LLC Lukoil-Western Siberia

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF INHIBITORS IN OXIDIZATION OF PINANE HYDROPEROXIDE**Abstract**

The need to improve the quality of motor fuels through the introduction of additives is shown in the paper. The urgency of developing new antioxidants and determining their effectiveness has been revealed. The mechanism of hydrocarbon oxidation is described. Experimental studies of the kinetics of its decomposition in the presence of inhibitors of peroxide reactions were carried out on the example of a model substance (pinane hydroperoxide). It was established that all studied inhibitors significantly, with varying degrees of activity, increase the stability of the model substance.

Keywords: inhibitor, antioxidant, antioxidant additives, motor fuel, pinane hydroperoxide.

Необходимость повышения качества моторных топлив требует введения в их состав различных видов присадок – антикоррозионных, антидетонационных, моющих и диспергирующих, противоизносных, антистатических и др. Отдельную группу присадок, вводимых с целью повышения срока службы топлива, за счет ингибирования процессов окисления и старения их компонентов, составляют антиоксиданты. Несмотря на присутствие на российском рынке более 100 различных видов присадок, в том числе импортных, разрешенных к использованию, отмечается ограниченность собственных российских разработок, в частности, в группе антиоксидантов [1].

В этой связи актуальными являются разработки и исследования свойств новых соединений, обладающих антиокислительной активностью, для их последующего использования в составе моторных топлив. Целью исследования являлась экспериментальная оценка антиоксидантной активности промышленно производимых и синтезированных ингибиторов разложения на модельном веществе (гидроперекиси пинана). Для достижения цели решались задачи обобщения информации по способу действия антиоксидантов; анализа кинетики термодеструкции гидроперекиси пинана в присутствии исследуемых веществ; интерпретации результатов ингибирования термического разложения. В качестве методов исследования использовались теоретические – анализ, синтез, обобщение имеющихся научных исследований, а также экспериментальные исследования антиоксидантного эффекта в процессах разложения модельного вещества.

В общем виде окисление углеводородов газообразным кислородом протекает по цепному механизму и состоит из стадий возбуждения молекул, зарождения активных центров, продолжения и обрыва цепи. В жидких углеводородах, которыми являются моторные топлива, имеется растворенный кислород. Под воздействием тепловой и механической энергии в топливе образуются активные частицы кислорода и углеводородов из-за разрыва относительно слабых связей некоторых молекул. Начальными продуктами окисления углеводородов, инициирующими дальнейшие превращения молекул, являются гидроперекисные ($\text{HOO}\cdot$) и перекисные ($\text{RO}_2\cdot$) радикалы, пероксид водорода (HOOH) и гидропероксид (ROOH). Поэтому в данном исследовании в качестве модельного вещества выбрана гидроперекись пинана.

Перекиси ROOR и спирты ROH как промежуточные продукты окисления углеводородов могут претерпевать дальнейшие превращения или переходить в состав конечных продуктов окисления. Температура, давление, состав и химические свойства углеводородов оказывают определяющее влияние на стабильность образующихся свободных радикалов и направление окислительного процесса. Чтобы антиоксидант мог предохранять топливо от окисления, его действие должно быть направлено на обрыв реакционной цепи путём уменьшения количества образующихся радикалов. При этом ингибитор (In-H) как активное вещество легко отдаёт свой водород радикалам основного окисляющегося вещества, переводя их в неактивное состояние и заменяя их радикалами $\text{In}\cdot$, неспособными в силу своей относительно малой активности регенерировать радикалы и продолжать цепь [2].

Противоокислительные присадки могут вести себя по-разному, эффективно влияя на стадию инициирования реакции и / или на автокаталитическую стадию процесса окисления. Реакция ингибитора с пероксидными радикалами может осуществляться через образование малостабильного комплекса ингибитора с радикалом при взаимодействии

последнего с электронами ингибитора (механизм «прилипания»). Образовавшийся радикал-комплекс реагирует ещё с одним пероксидным радикалом, давая стабильные продукты, т.е. цепь обрывается. Эффективность ингибитора окисления зависит от энергии диссоциации связи In-H. Чем слабее эта связь, тем лучше действует ингибитор. Однако если она очень слабая, то ингибитор начинает интенсивно взаимодействовать с кислородом и быстро расходуется [3].

Антиокислительными свойствами, препятствующими термодеструкции, обладают соединения содержащие азот, фосфор, серу и фенолы, состав и свойства которых охарактеризованы в научных трудах [4]. Анализ литературных данных показал, что высокоактивными ингибиторами являются пространственно-затрудненные фенолы, например 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол (ионол) и ароматические амины, например N-фенил-2-нафтиламина (нафтам-2). В связи с высокой стоимостью промышленно выпускаемых антиоксидантов необходим поиск экономически доступных ингибиторов разложения.

В качестве модельного объекта выступала гидроперекись пинана ($C_{10}H_{20}OOH$), с молекулярной массой 217, выпускаемая по ТУ 38.40386-92. Гидроперекись пинана - бесцветная маслянистая жидкость, со слабым скипидарным запахом, при обычной температуре очень устойчива, начинает разлагаться только при $120^{\circ}C$ и бурно разлагается при $140^{\circ}C$. Используется при эмульсионной низкотемпературной радикальной полимеризации [5].

Объектами исследования выступали:

1. Метил-3-оксим-4-дiazотриазол, порошок светло желтого цвета, полученный из 2-гидроксимино-3-оксобутанала и гидроксилamina, имеющий молекулярную массу 153. Температура плавления $152^{\circ}C$, плохо растворяется в этаноле, хлороформе, толуоле.

2. 2,3-бис(гидроксимино)бутанальоксим, порошок светло желтого цвета, молекулярная масса 142, температура плавления $182^{\circ}C$, малорастворим в этаноле, ацетоне, нерастворим в хлороформе, толуоле, слабо растворим в воде. Соединение синтезировано по методике [6].

3. 5-Нитрозо-8-N-[(1-адамантил)метил]аминохинолин ($C_{20}H_{23}N_3O$), молекулярная масса 321,42, температура плавления $178-180^{\circ}C$. Растворим в хлороформе, толуоле, ДМСО, этаноле (ограничено).

Исследование синтезированных антиоксидантов проводилось в сравнении с ингибитором Нафтам-2 (Украина) промышленного производства [7]. Одним из методов экспресс оценки активности антиоксидантов в процессе ингибиторного окисления является исследование кинетики термораспада гидроперекисей в присутствии ингибиторов, т.к. разрывы цепей полимера под влиянием термоокислительного воздействия вызываются разложением гидропероксидных групп [8].

Разложение модельного вещества осуществлялось в вазелиновом масле при $130^{\circ}C$ с добавлением 0,02 моль ингибитора на 0,1 моль гидроперекиси. Определение гидроперекиси осуществлялось по уровню выделившегося йода из йодида калия согласно методике в уксуснокислой среде [9]. Гидроперекись определяли по количеству выделившегося йода из йодида калия в уксуснокислой среде согласно методике [10].

Влияние антиоксидантов на кинетику разложения гидроперекиси пинана представлено на рисунке 1.

Как показано на рисунке 1, соединение 5-Нитрозо-8-N-[(1-адамантил)метил]аминохинолин и производимый стабилизатор Нафтам – 2 близки по своим антиоксидантным свойствам, значительно стабилизируя гидроперекись при нагревании.

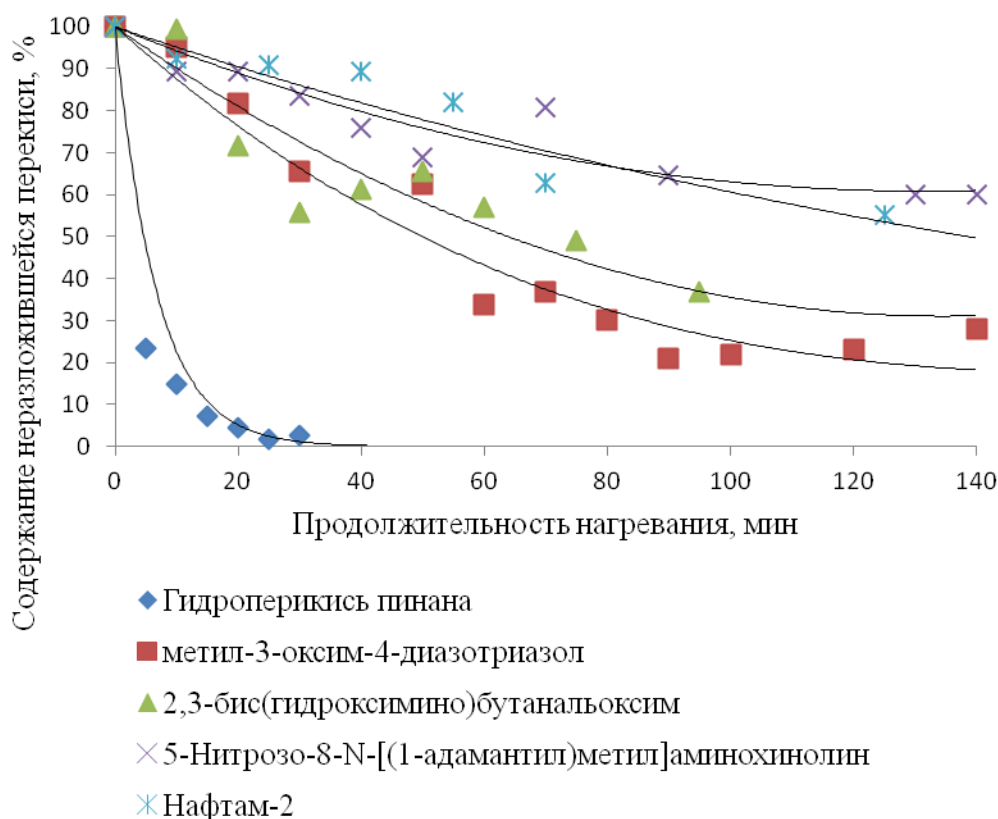


Рис. 1 – Кинетика разложения модельного вещества и влияние ингибиторов

Эффект применения 2,3-бис(гидроксимино)бутанальоксида и метил-3-оксим-4-дiazотриазола по сравнению с гидроперекисью без ингибиторов также очевиден, но снижается от продолжительности нагревания в 2 раза, по сравнению с первыми двумя веществами. Ингибирующий эффект изученных соединений вероятно связан с образованием стабильного нитроксильного радикала, замедляющего распад гидроперекиси пинана.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности применения изученных соединений в качестве ингибиторов термоокислительного старения моторных топлив. Антиокислительная эффективность 5-Нитрозо-8-Н-[(1-адамантил)метил]аминохинолина не уступает промышленно выпускаемому Нафтам-2. Несмотря на меньшую выраженность антиокислительной активности 2,3-бис(гидроксимино)бутанальоксида и метил-3-оксим-4-дiazотриазола, существенное повышение стабильности модельного вещества при повышенных температурах, делает перспективными дальнейшие исследования по повышению антиокислительной активности данных веществ и изучения их влияния на свойства моторных топлив.

Список литературы / References

1. Данилов А. М. Применение присадок в топливах: Справочник. / А. М. Данилов. - 3-е изд. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. - 368 с.
2. Маггеррамов А. М. Нефтехимия и нефтепереработка: учебник / А. М. Маггеррамов, Р. А. Ахмедова, Н. Ф. Ахмедова. - Баку: Баки Университети, 2009. - 660 с.
3. Макушев Ю. П. Химмотология: учебное пособие / Ю. П. Макушев, Л. Ю. Михайлова, А. В. Филатов. - Омск: СибАДИ, 2010. - 160 с.
4. Данилов А.М. Развитие исследований в области присадок к топливам (обзор) /А. М. Данилов // Нефтехимия. 2015. - Т.55. - №3. - С. 179-190.
5. Каторжитский В. М. Органические перекиси: учебник / В. М. Каторжитский. - М: Химия, 1961. - 270 с.
6. Ресурсосберегающие технологии // Экспресс информация. - Москва, 1999. - №3. - С. 11-24.
7. ГОСТ 39-79 Нафтам-2. - Введен 01.01.80. - Москва: Стандартинформ, 2001. - 11 с.
8. Кузьминский А. С. Химические превращения полимеров / А. С. Кузьминский, А. С. Седов. - М: Химия, 1984. - 192 с.
9. Рабинович В. А. Краткий химический справочник. / В. А. Рабинович, З. Я. Хавин. М.: Химия, 1978. - 392 с.
10. Исакова Н. А. Анализ продуктов производства синтетического этилового спирта и синтетических каучуков / Н. А. Исакова, А. И. Гуляева, В. Ф. Поликарпова и др. Под ред. И. В. Гармонова - Ленинград: Госхимиздат, 1957. - 376 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Danilov A. M. Primeneniye prisadok v toplivakh: Spravochnik [Application of additives in fuels: Reference book]. / A. M. Danilov. - 3d edition, SPb.: KHIMIZDAT, 2010. - 368 p. [in Russian]
2. Magerramov A. M. Neftehimija i neftepererabotka: uchebnik [Petrochemistry and oil processing: textbook] / A. M. Magerramov, R. A. Ahmedova, N. F. Ahmedova. Baku: Baky Universiteti, 2009. - 660 p. [in Russian]
3. Makushev Ju. P. Himmotologija: uchebnoe posobie [Chemistry: a textbook] / Ju. P. Makushev, L. Ju. Mihajlova, A. V. Filatov. Omsk: SibADI, 2010. 160 p. [in Russian]
4. Danilov A.M. Razvitie issledovanij v oblasti prisadok k toplivam (obzor) [Development of research in the field of additives to fuels (review)] /A. M. Danilov // Neftehimija [Petrochemistry]. 2015. - Vol. 55. - No 3. - P. 179-190. [in Russian]
5. Katorzhitskij V. M. Organicheskie perekisi: uchebnik [Organic peroxides: a textbook]/ V. M. Katorzhitskij. M: Himija, 1961. - 270 p. [in Russian]
6. Resursosberegajushhie tehnologii [Resource-saving technologies]// Jekspress informacija [Express information]. Moscow, 1999. - №3. - P. 11-24. [in Russian]
7. GOST 39-79 Naftam-2 [Naftam-2]. Vved. 01.01.80. M: Standartinform, 2001. - 11 p. [in Russian]
8. Kuz'minskiy A. S. Khimicheskiye prevrashcheniya polimerov [Chemical transformations of polymers]/ A. S. Kuz'minskiy, A. S. Sedov. - M: Khimiya, 1984. - 192 p. [in Russian]
9. Rabinovich V. A. Kratkiy khimicheskiy spravochnik [A Brief Chemical Handbook]. / V. A. Rabinovich, Z. Ya. Khavin. M.: Khimiya, 1978. - 392 p. [in Russian]
10. Isakova N. A. Analiz produktov proizvodstva sinteticheskogo etilovogo spirta i sinteticheskikh kauchukov [Analysis of the products of the production of synthetic ethyl alcohol and synthetic rubbers]/ N. A. Isakova, A. I. Gulyayeva, V. F. Polikarpova and others. Edited by I. V. Garmonova - Leningrad: Goskhimizdat, 1957. - 376 p. [in Russian]

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICSDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.110>**Кабанок К.В.¹, Прокопенко И.П.², Олифер Л.Д.³, Шестаков Г.Н.⁴**¹ORCID: 0000-5732-109X, старший преподаватель,²ORCID: 0000-0001-6554-4461, кандидат фармацевтических наук, доцент, ³ORCID: 0000-0003-2490-6459, старший преподаватель, ⁴ORCID: 0000-0002-3757-7757, доцент, Пятигорский медико-фармацевтический институт-филиал ФГБОУ ВО ВолгГМУ в г. Пятигорске**ИЗУЧЕНИЕ СПРОСА НА ЛЕКАРСТВЕННЫЕ СРЕДСТВА, СОДЕРЖАЩИЕ ИБУПРОФЕН****Аннотация**

Было проведено исследование ассортимента нестероидных противовоспалительных препаратов, содержащих ибупрофен. Установлено, что на фармацевтическом рынке города Пятигорска присутствует 17 из 23 торговых наименований средств, содержащих ибупрофен. Ассортимент аптек включает 12 наименований монопрепаратов и 5 комбинированных. Изучен покупательский спрос на данные препараты и выявлено, что в основном пользуются спросом лекарственные средства в форме таблеток (70,4%), т.к. имеют низкую ценовую категорию, оптимальную дозу и частоту приема.

Ключевые слова: спрос, ассортимент, ибупрофен, противовоспалительное действие, НПВС.

Kabanok K.V.¹, Prokopenko I.P.², Olfier L.D.³, Shestakov G.N.⁴¹ORCID: 0000-5732-109X, Senior lecturer,²ORCID: 0000-0001-6554-4461, PhD in Pharmaceutics, Associate professor,³ORCID: 0000-0003-2490-6459, Senior lecturer, ⁴ORCID: 0000-0002-3757-7757, Associate professor, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, Branch of FSBEI of HE VolgSMU in Pyatigorsk**STUDY OF DEMAND FOR IBUPROPHEN CONTAINING DRUGS****Abstract**

A study of the assortment of nonsteroidal anti-inflammatory drugs containing ibuprofen is conducted in the paper. It is found that there are 17 (of 23) samples of ibuprofen containing products on the pharmaceutical market of Pyatigorsk. The assortment of pharmacies includes 12 brands of mono-preparations and 5 combined ones. The consumer demand for these drugs is studied and it is revealed that medicines in the form of tablets (70.4%) are in demand, since they have a low price, the optimal dose and dose frequency.

Keywords: demand, assortment, ibuprofen, anti-inflammatory effect, NSAIDs.

Нестероидные противовоспалительные лекарственные препараты (НПВС) это большая группа лекарственных средств, нашедших свое широкое применение в различных областях медицины благодаря уникальному сочетанию противовоспалительного, жаропонижающего и обезболивающего эффекта [5, С. 2016].

Для формирования рациональной ассортиментной политики аптеки в рыночных условиях, необходимо изучение номенклатуры лекарственных средств (ЛС). Поэтому для работников аптечных предприятий необходима своевременная информация о представленных на фармацевтическом рынке препаратах. Умение правильно сформировать ассортимент позволит наиболее полно и качественно осуществить первоначальную задачу – оказание должной фармацевтической помощи населению [9, С. 23].

Целью настоящей работы явилось изучение ассортимента и спроса на ЛС, содержащие ибупрофен.

Ибупрофен является представителем НПВС и обладает анальгезирующим, жаропонижающим и ярко выраженным противовоспалительным действием. Он снижает проницаемость капилляров в очагах воспаления, что приводит к уменьшению отеков, стабилизирует работу терморегуляции в головном мозге, что приводит к снижению температуры. [10, С. 49]. Действует путем подавления продукции простагландинов — веществ, отвечающих за появление боли и развитие воспаления [6, С. 55]. Кроме того, препарат обратимо подавляет агрегацию (слипание) тромбоцитов, имеет разностороннюю биологическую активность, является медиатором воспалительной реакции; сенситизирует рецепторы к медиаторам боли (гистамину, брадикинину) и механическим воздействиям, понижая порог болевой чувствительности; повышает чувствительность гипоталамических центров терморегуляции к действию эндогенных пирогенов (интерлейкин-1 и др.), образование которых индуцируют микроорганизмы и токсины [4, С. 60].

Применяется Ибупрофен для лечения острой боли легкой и средней интенсивности (при головной боли, болезненной менструации, невралгии (боли при поражении нерва), зубной боли, спине, мышцах, суставах, ревматической боли), а также для лечения жара при простудах, воспалениях [4, С. 57].

Информационная база состояла из реестров, справочников, прайс-листов и результатов анкетирования потребителей НПВС.

Изучение спроса на ЛС с ибупрофеном, включало выявление наименований, наиболее широко представленных в аптечной сети и предпочитаемых населением, анализ их стоимости и объема реализации.

Согласно распоряжения Правительства РФ от 26 декабря 2015 г. N 2724-р «Об утверждении перечня жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов для медицинского применения на 2016 год», ибупрофен включен в перечень ЖНВЛП [2]. Данный перечень необходимо учитывать при формировании ассортимента аптек.

Исследования были проведены на базе 18 аптек г. Пятигорска.

Как показал контент-анализ, в настоящее время в РФ зарегистрировано 229 торговых наименований НПВС различных производителей. Установлено, что из зарегистрированных ЛС, только 27% производятся российскими компаниями [1].

Из информационной базы выявлено, что номенклатура препаратов, содержащих в своем составе ибупрофен, насчитывает 23 торговых наименований, среди которых 13 монопрепараты и 10 комбинированных препаратов. Лекарственные средства, содержащие ибупрофен выпускаются в различных лекарственных формах:

- 70,4% таблетки,
- 1,1% мази и кремы,
- 7,4% капсулы пролонгированного действия,
- 21,1% составляют детские лекарственные формы (суспензии, сиропы, суппозитории) [7, С. 72].

Проведенный анализ ассортимента аптек показал, что на фармацевтическом рынке города Пятигорска присутствует 17 из 23 торговых наименований средств, содержащих ибупрофен, что составляет 73,9%. Ассортимент аптек включает 12 наименований монопрепаратов и 5 комбинированных.

Установлено, что основными поставщиками лекарственных препаратов с ибупрофеном на фармацевтическом рынке г. Пятигорска являются ООО «Протек», АО «Катрен», ООО «Прибой ЛТД» и др. [3].

В анализируемых аптеках представлен ассортимент ЛС с ибупрофеном различных производителей. Причем доля отечественных препаратов составляет 25,4%, а остальные 74,6% – зарубежные. Основными поставщиками являются Германия (23,1%), Индия (17,7%), Британия (9,6%), Польша (7,8%), Италия (5,9%) и другие страны (10,5%).

В ассортименте аптек, чаще всего встречаются следующие наименования, содержащие ибупрофен:

- нурофен (таблетки, сироп для детей),
- ибуклин (таблетки, суспензии, суппозитории),
- ибупрофен (таблетки, суспензии, гель),
- миг (таблетки 200 мг, 400мг),
- долгит (крем, гель),
- некст (таблетки),
- ибуфен (сироп),
- новиган (таблетки),
- адвил (шипучие таблетки),
- фаспик (гранулы для раствора) и другие.

Стоимость импортных ЛС в среднем в 4.8 раза выше отечественных.

При проведении ценовой сегментации рынка ЛС с ибупрофеном было выделено 3 группы препаратов по их стоимости:

- 1 – до 100 рублей
- 2 – от 100 до 250 рублей
- 3 – свыше 250 рублей.

Наибольшее количество лекарственных средств (ЛС) находятся в ценовом сегменте от 100 до 250 рублей (71,9%). В результате проведенного сравнительного анализа стоимости препаратов установлено, что самым дешевым является ибупрофен в табл. (от 30 рублей), а самым дорогим некст в табл. (свыше 300 рублей).

Проведенный нами анализ розничных цен на лекарственные средства с ибупрофеном в аптеках города показал, что в течении I-III квартала 2017 года наблюдался существенный разброс цен на одно и то же наименование. Например, цена «Долгит» крема 50,0 колебалась от 108,0 руб до 157,0 руб. На наш взгляд, различия в стоимости обусловлены не только разным уровнем торговой наценки, расположением аптеки, но и формой собственности аптеки. Как ни странно, розничная цена на препараты, содержащие ибупрофен, в муниципальных аптеках была выше, чем на аналогичные препараты в частных аптеках. Это объясняется более жесткой конкуренцией среди частного сегмента розничного звена [8, С. 83].

Изучение спроса на ЛС, содержащих ибупрофен, проводили методом анкетирования посетителей аптек. Опрос 270 покупателей позволил установить, что наиболее предпочтительным является ибупрофен в различных лекарственных формах. Установлено, что 76% респондентов приобретают данный препарат в виду низкой платежеспособности.

Среди опрошенных респондентов, применяющих НПВС, преобладают женщины - 70,4% и 29,6% - мужчины. Установлено, что при выборе препаратов, содержащих ибупрофен, 33% опрошенных следуют назначению врача, 31% полагаются на собственный опыт, около 20% пользуются советом провизора, 13,2% рекомендациям знакомых.

Основными причинами применения препаратов с ибупрофеном являются боли в суставах (35%), радикулит (27%), около 20% респондентов используют как жаропонижающее средство, около 15% респондентов используют как противовоспалительное средство.

Из всех опрошенных 33% анкетизируемых используют только «Долгит» крем, 28,1% только таблетки «Ибупрофен», сироп «Нурофен» используют свыше 30% опрошенных.

Таким образом, в результате проведенных исследований в аптечной сети г. Пятигорска был изучен ассортимент НПВС, содержащих ибупрофен, а также выявлен потребительский спрос на данную группу товара. Лекарственные средства, содержащие ибупрофен, пользуются устойчивым спросом у населения, так как данные средства имеют низкую ценовую категорию, рациональную дозировку и способ применения. Выбор препарата основывается на назначениях врача, рекомендации провизора, а также учитываются способы и частота применения. Полученные результаты необходимо использовать работникам аптек при формировании ассортимента нестероидными противовоспалительными лекарственными препаратами, содержащие в своем составе ибупрофен для удовлетворения покупательского спроса.

Список литературы / References

1. Регистр лекарственных средств России РЛС Энциклопедия лекарств, М.: «РЛС», 2017.
2. Распоряжение Правительства РФ от 26 декабря 2016 г. N 2724-р «Об утверждении перечня жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов для медицинского применения на 2017 год».

3. Российская Федерация. Законы. "Об обращении лекарственных средств" от 12 апреля 2010 г. – N 61-ФЗ.
4. Захаренко А.Г. Нестероидные противовоспалительные средства /А. Г Захаренко. //Вестник фармации, 2006. – №1. – С. 57-69.
5. Максимов М. Л. Актуальные вопросы эффективности и безопасности современных нестероидных противовоспалительных препаратов /М.Л. Максимов //РМЖ, 2014. – Т. 22. – №28. – С. 2015– 2021.
1. Мелешкина А.В. К вопросам безопасности применения нестероидных противовоспалительных препаратов в практике детского ревматолога: Возможности локальной терапии /А. В. Мелешкина, С. Н.Чебышева //Сеченовский вестник, 2014 – №2 (16), — С. 54–58.
2. Плоскирева А. А. Терапевтическая тактика при лихорадочных состояниях у детей /А. А. Плоскирева //Педиатрия. Приложение к журналу consilium medicum, 2013. – №1. – С. 71–74.
3. Прокопенко И. П. Мерчандайзинг в аптеке /И. П. Прокопенко., Л. Д. Олифер //В сборнике: Наука и образование в XXI веке. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 2014. – С. 83 – 84.
4. Прокопенко И. П. Маркетинговое изучение современного фармацевтического рынка диуретических средств /И. П. Прокопенко, Г. Н. Шестаков //Фармация, 2010. – № 1. – С.23-26.
11. Чичасова Н. В. Симптоматическая терапия заболеваний суставов – новые возможности эффективного и безопасного лечения с применением раптенарапида /Н. В. Чичасова //Фарматека. – 2004. № 2 (81). – С.48 – 51.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Registr lekarstvennyh sredstv Rossii RLS Jenciklopedija lekarstv [Register of medicines in Russia Encyclopedia of medicines]. – М.:RLS [М.: "Radar Station": 2017 [in Russian]
2. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 26 dekabrya 2016 g. N 2724 – r «Ob utverzhdenii perechnja zhizненно neobhodimyh i vazhnejshih lekarstvennyh preparatov dlja medicinskogo primenenija na 2017 god» [Order of the Government of the Russian Federation of December 26, 2016 No. 2724 – r "On Approval of the List of Essential and Essential Drugs for Medical Use for 2017"] [in Russian]
3. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 12 aprelja 2010 g. N 61 – FZ "Ob obrashhenii lekarstvennyh sredstv" ["Ob obrashhenii sredstv lekarstvennyh"] [in Russian]
4. Zaharenko A.G. Nesteroidnye protivovospalitel'nye sredstva [Non-steroidal anti-inflammatory drugs] /A. G Zaharenko. //Vestnik farmacii [Bulletin of Pharmacy], 2006. – №1. – P. 57 – 69. [in Russian]
5. Maksimov M. L. Aktual'nye voprosy jeffektivnosti i bezopasnosti sovremennyh nesteroidnyh protivovospalitel'nyh preparatov [Topical issues of efficacy and safety of modern non-steroidal anti-inflammatory drugs] /M.L. Maksimov //RMZh [RMZ], 2014. – Т. 22. – № 28. – P. 2015 – 2021. [in Russian]
6. Meleshkina A. V. K voprosam bezopasnosti primenenija nesteroidnyh protivovospalitel'nyh preparatov v praktike detskogo revmatologa: Vozmozhnosti lokal'noj terapii [To the safety of non-steroidal anti-inflammatory drugs in the practice of pediatric rheumatology: The possibilities of local therapy] /A. V. Meleshkina, S.N.Chebysheva //Sechenovskij vestnik, [Sechenovsky Herald] 2014. – №2 (16), – P. 54 – 58. [in Russian]
7. Ploskireva A. A. Terapevticheskaja taktika pri lihoradochnyh sostojanijah u detej [Therapeutic tactics in feverish conditions in children] /A. A. Ploskireva //Pediatrija. Prilozhenie k zhurnalu consilium medicum [Pediatrics. Supplement to the journal consilium medicum], 2013. – №1. – P. 71 – 74. [in Russian]
8. Prokopenko I. P. Merchandajzing v apteke [Merchandising in a pharmacy] /I. P Prokopenko., L. D. Olifer //V sbornike: Nauka i obrazovanie v XXI veke. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii [In the collection: Science and Education in the 21st Century. Collection of proceedings on the materials of the International Scientific and Practical Conference], 2014. – P. 83 – 84. [in Russian]
9. Prokopenko I. P. Marketingovoe izuchenie sovremennogo farmacevticheskogo rynka diureticheskikh sredstv [Marketing research of the modern pharmaceutical market of diuretics] /I. P. Prokopenko, G. N. Shestakov //Farmacija [Pharmacy], 2010, – №1. – P.23 – 26. [in Russian]
10. Chichasova N.V. Simptomaticeskaja terapija zabolevanij sustavov - novye vozmozhnosti jeffektivnogo i bezopasnogo – lechenija s primeneniem raptenarapida [Symptomatic therapy of joint diseases new opportunities for effective and safe treatment with the use of raptenarapid] /N. V Chichasova //Farmateka [Pharmatec], 2004. – №2 (81). – P.48-51. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.67.109>Трембалья Я.С.¹, Дроздова И.Л.², Кузькина Э.Е.³АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ ГЕРАНИ ЛЕСНОЙ (*GERANIUM SYLVATICUM* L.)¹ ORCID: 0000-0001-6651-7940; кандидат биологических наук,² ORCID: 0000-0002-2231-2772, доктор фармацевтических наук, доцент, ³ студент,^{1,2,3} Курский государственный медицинский университет

Аннотация

Род Герань (*Geranium* L.) насчитывает более 350 видов, распространенных преимущественно в умеренных широтах. В Курской области одним из довольно часто встречающихся видов является герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.). Герань лесная содержит комплекс биологически активных веществ и широко применяется в народной медицине для лечения различных заболеваний, что позволяет считать данный вид перспективным для научной медицины. Возможность использования нового вида сырья в научной медицине делает необходимым изучение анатомического строения вегетативных органов герани лесной. Выявленные особенности анатомического строения стебля и листа могут быть использованы для диагностики лекарственного сырья данного растения.

Ключевые слова: герань лесная, вегетативные органы, микродиагностические признаки.

Trembalya Ya.S.¹, Drozdova I.L.², Kuzkina E.E.³¹ ORCID: 0000-0001-6651-7940; PhD in Biology,² ORCID: 0000-0002-2231-2772, Doctor of Pharmaceutics, Associate professor, ³ Student,^{1,2,3} Kursk State Medical UniversityANATOMICAL STRUCTURE OF VEGETATIVE ORGANS OF WOOD GERANIUM (*GERANIUM SYLVATICUM* L.)

Abstract

The *Geranium* genus (*Geranium* L.) includes more than 350 species, distributed mainly in a middle latitudes. One of the widely spread species in the Kursk region is a wood geranium (*Geranium sylvaticum* L.). Wood geranium contains a complex of biologically active substances and is widely used in folk medicine for the treatment of various diseases, which makes it possible to consider this plant a promising for scientific medicine. The possibility of the use of a new type of raw material in scientific medicine makes it necessary to study the anatomical structure of the vegetative organs of wood geranium. The revealed features of the anatomical structure of a stem and a leaf can be used to diagnostics of the medicinal raw material of this plant.

Keywords: wood geranium, vegetative organs, microdiagnostic signs.

Род Герань (*Geranium* L.) – наиболее крупный в семействе гераниевые (*Geraniaceae*), является почти космополитным, включает более 350 видов, распространенных преимущественно в умеренных широтах [1, С. 327]. В данной статье представлен фрагмент исследований, посвященных изучению биологических особенностей растений данного рода [2], [3]. По данным литературы, во флоре России встречается около 20 видов, в среднерусском регионе – 17–18 [1, С. 327], в Курской области произрастает 10 видов герани [4, С. 41]. Одним из довольно распространенных видов является герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.) – многолетнее травянистое корневищное растение. Стебли прямостоячие, ребристые, опушенные, высотой до 80 см, в верхней части разветвленные. Прикорневые листья розеточные, длинночерешковые, с почковидно-округлыми семираздельными пластинками. Имеются ланцетные прилистники. Средние и верхние стеблевые листья более мелкие. Верхние стеблевые листья супротивные, сидячие. Все листья прижато-волосистые. Цветки, как правило, фиолетовые или пурпурно-лиловые, собраны по два в рыхлом соцветии (Рис. 1) [5, С. 120]. Цветет с мая по июль, плоды появляются в июле-августе [1, С. 327], [5, С. 120]. В России герань лесная распространена в Европейской части, на Северном Кавказе и в Сибири. Растет в хвойных и смешанных светлых лесах, на опушках, полянах, на лугах. Встречается во всех областях региона [1, С. 328], [6, С. 45], [7, С. 118].



Рис. 1 – Внешний вид герани лесной (*Geranium sylvaticum* L.)

В литературе имеются сведения о содержании в траве герани лесной фенолкарбоновых кислот и их производных, дубильных веществ, углеводов (сахароза, глюкоза, фруктоза), флавоноидов, витамина С [6, С. 45]. Данное растение

издавна и широко применяется в народной медицине разных стран в качестве вяжущего, кровоостанавливающего средства, а также при лечении желудочно-кишечных заболеваний различной этиологии: диареи, дизентерии, энтероколитов. Известно об использовании герани лесной при почечнокаменной болезни, ревматизме, подагре, стенокардии [6, С. 45]. Экспериментально установлено, что спиртовой экстракт надземной части ингибирует активность ацетилхолинэстеразы [7, С. 118].

Все это позволяет говорить о перспективности использования данного растения в качестве доступного отечественного лекарственного сырья с разносторонней фармакологической активностью, что в современных условиях импортозамещения является актуальной задачей фармацевтической науки и практики. Возможность внедрения герани лесной в официальную медицину обосновывает необходимость проведения анатомических исследований с целью выявления признаков, которые могут быть использованы при микродиагностике лекарственного растительного сырья.

Цель данной работы – изучение анатомического строения надземных вегетативных органов герани лесной и выявление микродиагностических признаков лекарственного растительного сырья.

Материалы и методы исследования. Материал для данной работы был собран в период массового цветения герани лесной в условиях умеренно-континентального климата (окрестности г. Курска; время сбора – июль 2016 г.; умеренно теплое и умеренно влажное лето). Для исследований использовали свежесобранные стебли и листья, а также фиксированные в спирте этиловом 70% и в смеси: спирт этиловый 96% – вода очищенная – глицерин (1:1:1) [8, С. 94], [9, С. 94].

Изучение анатомического строения проведено в соответствии с методиками Государственной фармакопеи Российской Федерации XIII издания: ОФС.1.5.1.0002.15 «Травы» и ОФС.1.5.3.0003.15 «Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов» [10]. Микропрепараты изучали с помощью микроскопа «Биолам». Снимки изготовленных микропрепаратов сделаны с помощью цифрового фотоаппарата и обработаны в графическом редакторе PhotoScape v3.5.

Результаты и их обсуждение. При изучении анатомического строения надземных вегетативных органов герани лесной были установлены следующие микродиагностические признаки.

Стебель на поперечном срезе округло-многоугольный (Рис. 2а, 2б). Клетки эпидермиса с хорошо выраженной складчатостью кутикулы; прозенхимные, прямостенные с прямыми или скошенными концами (Рис. 2в). Устьица погруженные, аномоцитного типа. Под эпидермисом просматриваются крупные друзы оксалата кальция (Рис. 2г). Из трихомных образований встречаются простые и головчатые волоски (Рис. 2д, 2е). Простые волоски двух типов – 1-клеточные длинные остроконусовидные и 2-клеточные с короткой базальной и длинной остроконусовидной конечной клеткой. В месте сочленения клеток имеется кольцевидное утолщение оболочки. Головчатые волоски с короткой 1–2-клеточной ножкой и овальной 1-клеточной головкой. Первичная кора хорошо выражена (Рис. 2а, 2б). Эпидермис подстилается одним рядом клеток колленхимы уголкового типа. Паренхима первичной коры состоит из 3–4 рядов тонкостенных овальных клеток. Эндодерма представлена одним рядом овальных клеток. Проводящая система состоит из радиально расположенных разновеликих проводящих пучков биколлатерального типа – крупные пучки чередуются с более мелкими (Рис. 2а, 2б). На периферии центрального цилиндра находится сплошное 3–5-рядное кольцо клеток склеренхимы. Над крупными проводящими пучками склеренхима внедряется во флоэму в виде клиновидного выроста. Внутренняя флоэма занимает сравнительно небольшой объем. Запасная паренхима окружает сосудисто-волокнистые пучки и заполняет всю сердцевину (Рис. 2а).

Лист. Сравнительное изучение верхнего и нижнего эпидермисов показало, что форма клеток верхнего эпидермиса варьируется от паренхимных многоугольных, почти прямостенных, до клеток со слабоизвилистыми боковыми стенками (Рис. 3а). Контур клеток нижнего эпидермиса более извилистый (Рис. 3б). В клеточных оболочках эпидермиса на обеих сторонах листа хорошо заметны поры. Устьица крупные, многочисленные, аномоцитного типа, сосредоточены в основном на нижнем эпидермисе. Вдоль жилок, а также по краю листовой пластинки клетки прозенхимные, прямостенные. На обеих сторонах листа по краю, вдоль жилок и по всей поверхности встречаются простые и головчатые волоски. Простые волоски следующих типов: 1-клеточные тонкостенные остроконусовидные с зернистым содержимым (Рис. 3в); 1-клеточные толстостенные остроконусовидные с бородавчатой кутикулой и зернистым содержимым (Рис. 3г); 1-клеточные тупоконечные (Рис. 3г); 2-клеточные толстостенные с короткой базальной и длинной остроконусовидной конечной клеткой с кольцевидным утолщением оболочки в месте сочленения клеток (Рис. 3д). Вокруг места прикрепления волоска хорошо заметна розетка клеток и складчатость кутикулы. Головчатые волоски имеются на обеих сторонах листа (Рис. 3е); аналогичны волоскам, обнаруженным на стебле. Состоят из 1–2-клеточной короткой ножки и овальной 1-клеточной головки. Под эпидермисом хорошо просматриваются многочисленные друзы оксалата кальция.

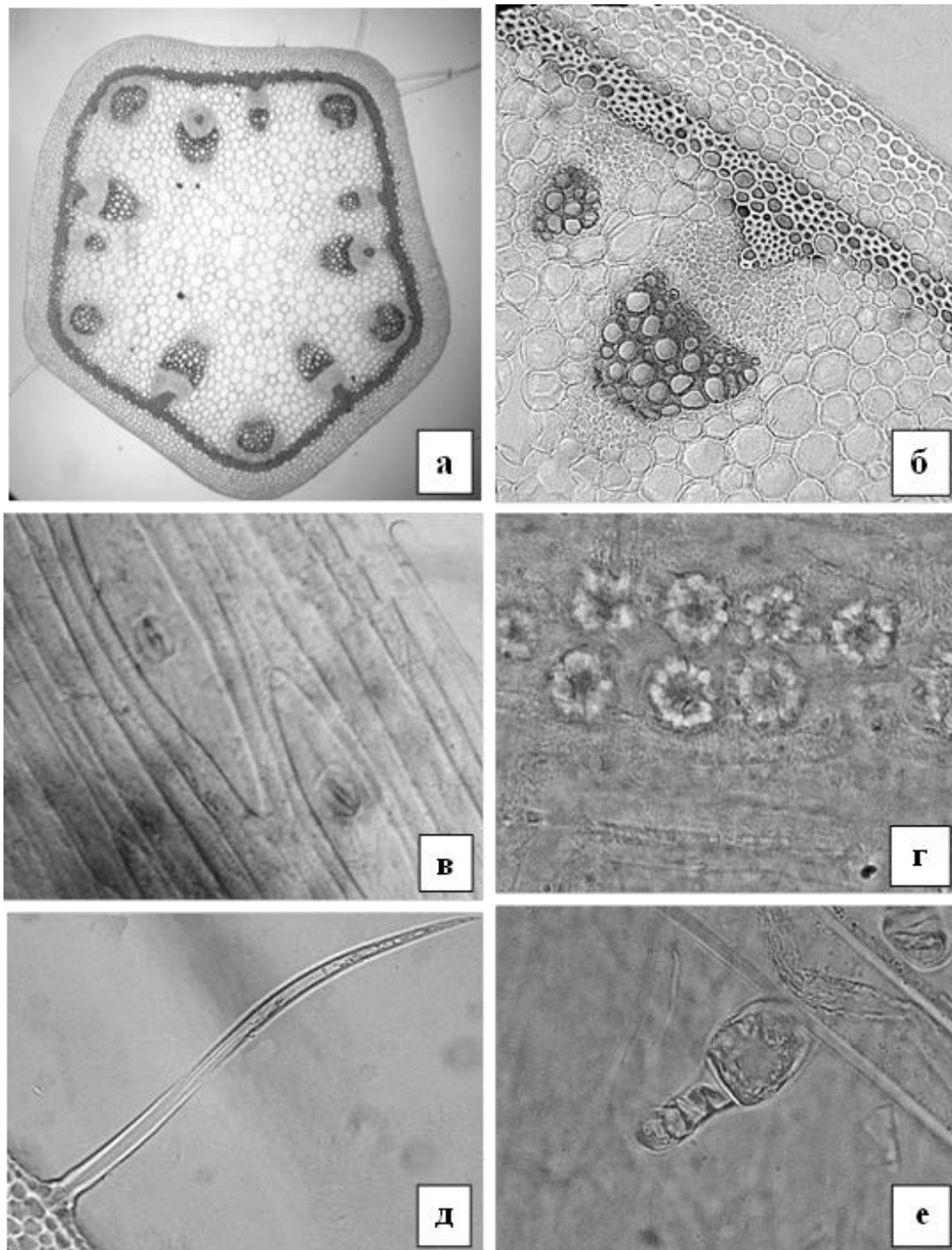


Рис. 2 – Фрагменты стебля (Ув. $\times 80, 140, 200, 400$)

а – поперечный срез (общий вид), б – ткани первичной коры и центрального цилиндра, в – эпидермис с погруженными устьицами аномоцитного типа, г – друзы, д – простой 1-клеточный остроконусовидный волосок, е – головчатый волосок

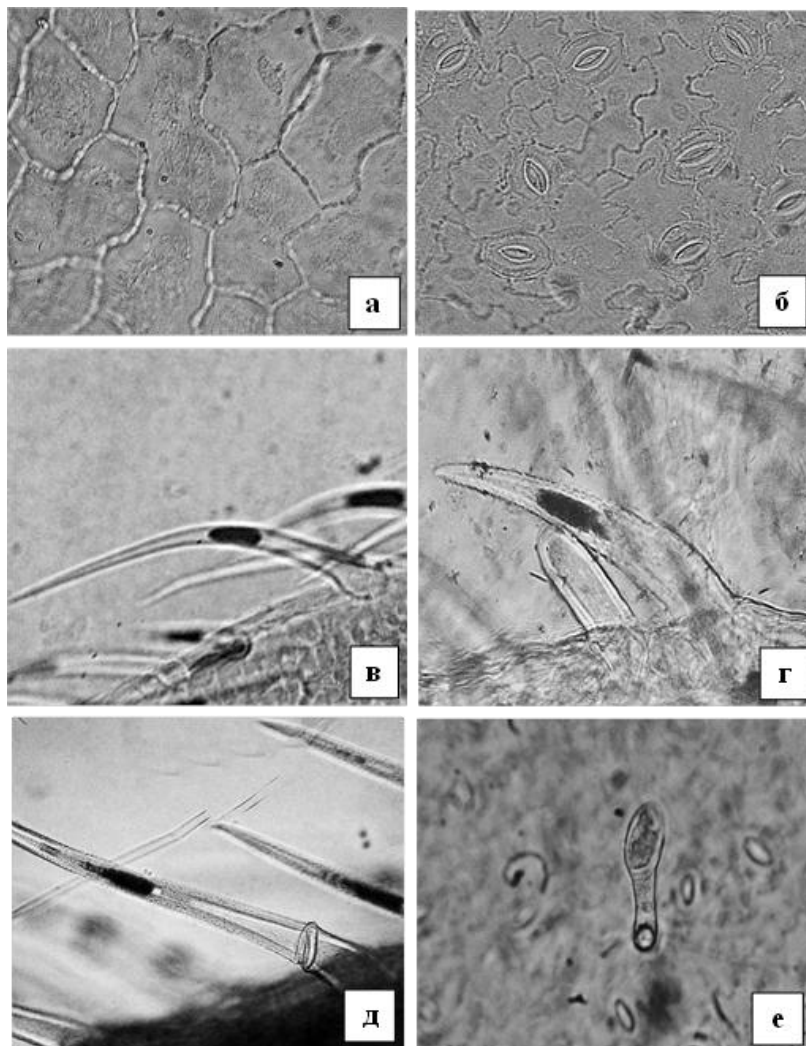


Рис. 3 – Фрагменты эпидермиса листа (Ув. $\times 200, 300, 400$) а, б – клетки верхнего (а) и нижнего (б) эпидермиса, в – простые 1-клеточные тонкостенные остроконусовидные волоски, г – простые толстостенные 1-клеточные волоски: тупоконечные и остроконусовидные с бородавчатой кутикулой, д – простой 2-клеточный толстостенный остроконусовидный волосок с кольцевидным утолщением оболочки, е – головчатый волосок

Черешок на поперечном срезе округло-треугольной формы (Рис. 4а). Клетки эпидермиса черешка ровноконтурные, продольно вытянутые, с прямыми или скошенными концами. Имеются устьица аномоцитного типа. Обнаружены простые и головчатые волоски, аналогичные описанным для стебля и листа. Изредка встречаются длинные волоски с очень тонкими, спадающимися стенками. Эпидермис подстилается 1–2 рядами уголкового колленхимы. Далее следует 3–4 ряда клеток хлорофиллоносной паренхимы. Проводящие пучки биколлатерального типа, в количестве 6–7, располагаются радиально (Рис. 4а, 4б). Над наружной флоэмой по всему периметру черешка обнаружено 1–2-слойное кольцо клеток склеренхимы. Вокруг пучков имеется обкладка из одного ряда овальных клеток. Под эпидермисом просматриваются кристаллические включения оксалата кальция в виде друз (Рис. 4б).

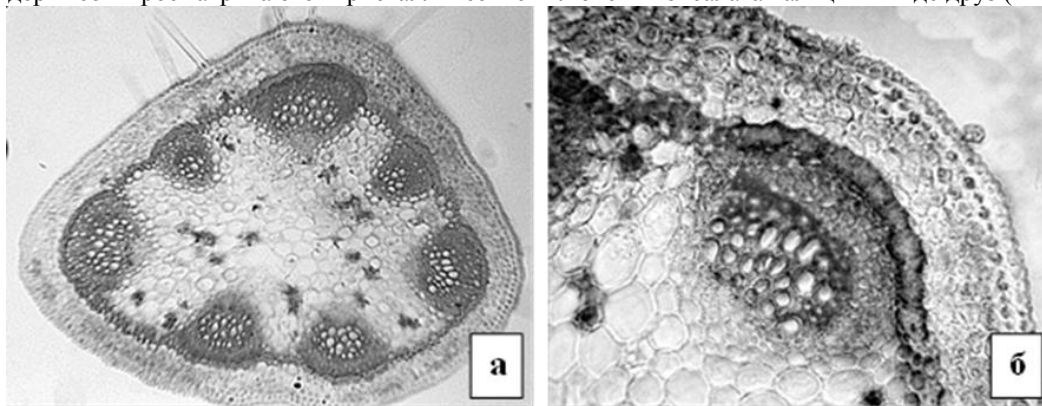


Рис. 4 – Фрагменты черешка (Ув. $\times 56, 200$). а – поперечный срез (общий вид), б – фрагмент поперечного среза

Заключение. Таким образом, при изучении анатомического строения надземных вегетативных органов герани лесной выявлена совокупность микродиагностических признаков стебля и листа, позволяющая устанавливать подлинность лекарственного растительного сырья.

Список литературы / References

1. Киселева К. В. Флора средней полосы России: Атлас-определитель / К. В. Киселева, С. Р. Майоров, В. С. Новиков ; под ред. проф. В. С. Новикова. – М. : ЗАО «Фитон+», 2010. – 544 с.
2. Трембалья Я. С. Изучение анатомического строения цветка герани луговой (*Geranium pratense* L.) / Я. С. Трембалья, Л. И. Прокошева, Д. Н. Пожидаева // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 7 (63). – С. 226–227.
3. Трембалья Я. С. Микродиагностика сырья герани Роберта / Я. С. Трембалья, М. М. Маслов // Фармацевтическое образование, наука и практика: горизонты развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию фарм. фак-та КГМУ. 20–21 октября 2016 г., Курск / М-во здравоохранения Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Курский гос. мед. ун-т». – Курск, 2016. – С. 520–524.
4. Полуянов А. В. Сосудистые растения Курской области / А. В. Полуянов, Н. А. Прудников. – Курск. : КГУ, 2005. – 80 с.
5. Губанов И. А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 2 : Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. – М. : Товарищество научных изданий КМК. – 2003. – 665 с.
6. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства Rutaceae – Elaeagnaceae / Отв. ред. П. Д. Соколов. – Л. : Наука, 1988. – 356 с.
7. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность Т. 3. Семейства Fabaceae – Apiaceae / Отв. ред. А. Л. Буданцев. – СПб.; М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 630 с.
8. Дроздова И. Л. Морфолого-анатомическое изучение травы икотника серого (*Berteroa incana* (L.) DC.) / И. Л. Дроздова, Т. И. Лупилина // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». – 2014. – № 2. – С. 94–98.
9. Дроздова И. Л. Морфолого-анатомическое изучение травы вязеля разноцветного (*Coronilla varia* L.) / И. Л. Дроздова, И. А. Калутский // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». – 2017. – № 1. – С. 93–97. doi: 10.21626/vestnik/2017-1/17
10. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII издание [Электронный ресурс] – М. : МЗ РФ, 2016. – URL: <http://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-13-online> (дата обращения 10.11.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kiseleva K. V. Flora sredney polosy Rossii: Atlas-opredelitel' [Flora of Central Russia: Atlas-determinant] / K. V. Kiseleva, S. R. Mayorov, V. S. Novikov ; edited by prof. V. S. Novikova. – M. : ЗАО «Фитон+», 2010. – 544 p. [in Russian]
2. Trembalya Ya. S. Izuchenie anatomicheskogo stroeniya tsvetka gerani lugovoy (*Geranium pratense* L.) [The study of the anatomical structure of flower meadow geranium (*Geranium pratense* L.)] / Ya. S. Trembalya, L. I. Prokosheva, D. N. Pozhidaeva // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki [Scientific notes Oryol state University. Series: Natural Sciences]. – 2014. – № 7 (63). – P. 226–227. [in Russian]
3. Trembalya Ya. S. Mikrodiagnostika syr'ya gerani Roberta [Diagnostics raw materials of *Geranium robertianum* L.] / Ya. S. Trembalya, M. M. Maslov // Farmatsevticheskoe obrazovanie, nauka i praktika: gorizonty razvitiya : materialy Vseros. nach.-prakt. konf. s mezhduar. uchastiem, posvyashch. 50-letiyu farm. fak-ta KGMU. 20–21 oktyabrya 2016 g., Kursk [Pharmaceutical education, science and practice: perspectives of development: Materials of All-Russian scientific-pract. conf. with int. participation dedicated to the 50th anniversary of pharmaceutical faculty of KSMU 20–21 October 2016] / M-vo zdavookhraneniya Ros. Federatsii, Feder. gos. byudzh. obrazov. uchrezhdenie vyssh. obrazovaniya «Kurskiy gos. med. un-t» [The Ministry of Health, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kursk State Medical University»]. – Kursk, 2016. – P. 520–524. [in Russian]
4. Poluyanov A. V. Sosudistye rasteniya Kurskoy oblasti [Vascular plants of Kursk region] / A. V. Poluyanov, N. A. Prudnikov. – Kursk. : KGU, 2005. – 80 p. [in Russian]
5. Gubanov I. A. Illyustrirovannyi opredelitel' rasteniy Sredney Rossii. T. 2 : Pokrytosemennye (dvudol'nye: razdel'nolepestnye) [Illustrated keys to plants of Middle Russia. Volume 2: angiosperms (dicots: polypetalous)] / I. A. Gubanov, K. V. Kiseleva, V. S. Novikov, V. N. Tikhomirov. – M. : Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK. – 2003. – 665 p. [in Russian]
6. Rastitel'nye resursy SSSR: Tsvetkovye rasteniya, ikh khimicheskiy sostav, ispol'zovanie; Semeystva Rutaceae – Elaeagnaceae [Plant Resources of the USSR: flowering plants, their chemical composition, the use; the Rutaceae-Elaeagnaceae family] / executive editor P. D. Sokolov. – L. : Nauka, 1988. – 356 p. [in Russian]
7. Rastitel'nye resursy Rossii: Dikorastushchie tsvetkovye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost' T. 3. Semeystva Fabaceae–Apiaceae [Plant resources of Russia: wild flowering plants, their component composition and biological activity. V. 3. Family Fabaceae–Apiaceae] / executive editor A. L. Budantsev. – SPb.; M. : Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010. – 630 p. [in Russian]
8. Drozdova I. L. Morfologo-anatomicheskoe izuchenie travy ikotnika serogo (*Berteroa incana* (L.) DC.) [Morphological and anatomic research of the herb *Berteroa incana* (L.) DC.] / I. L. Drozdova, T. I. Lupilina // Kurskiy nauchno-prakticheskiy vestnik «Chelovek i ego zdorov'e» [Kursk scientific-practical Bulletin «Persons and his health»]. – 2014. – № 2. – P. 94–98. [in Russian]
9. Drozdova I. L. Morfologo-anatomicheskoe izuchenie travy vyazelya raznotsvetnogo (*Coronilla varia* L.) [Morphological and anatomic research of *Coronilla varia* L.] / I. L. Drozdova, I. A. Kalutskiy // Kurskiy nauchno-prakticheskiy vestnik «Chelovek i ego zdorov'e». [Kursk scientific-practical Bulletin «Persons and his health»]. – 2017. – № 1. – P. 93–97. doi: 10.21626/vestnik/2017-1/17 [in Russian]
10. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIII izdanie [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIII edition] [Electronic resource] – M. : MZ RF, 2016. – URL: <http://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-13-online> (accessed date: 10.11.2017). [in Russian]