

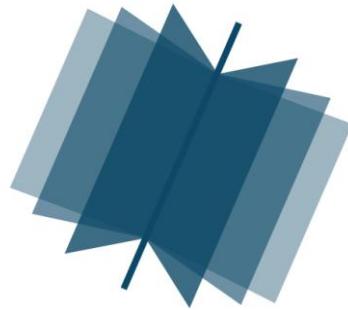
МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2017

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ
INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL
ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**



Периодический теоретический и научно-практический журнал.

Выходит 12 раз в год.

Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.

Главный редактор: Миллер А.В.

Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,
д. 4, корп. А, оф. 17.

Электронная почта: editors@research-journal.org

Сайт: www.research-journal.org

Подписано в печать 25.01.2017.

Тираж 900 экз.

Заказ 26173.

Отпечатано с готового оригинал-макета.

Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

№ 01 (55) 2017

Часть 4

Январь

Сборник по результатам LVIII заочной научной конференции International Research Journal.

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

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

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

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Экономические науки: Бурда А.Г., д-р экон. нау, 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
2016**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА О НАХОЖДЕНИИ МЕСТА СОПРЯЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО СТЕРЖНЯ	6
ИТЕРАЦИОННЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ НА КРУЧЕНИЕ.....	12
РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ТОКА ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДУСТРОЙСТВ	18
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ФЕЛИНОЛОГИЧЕСКОЙ ВЫСТАВКИ.....	22
ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, АДАПТИРОВАННОЙ К ПАРАМЕТРАМ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТА	25
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КАЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОЛЕСА СИСТЕМЫ «ПЯТОЕ КОЛЕСО».....	29
ПОСТРОЕНИЕ ТОРМОЗНОЙ ДИАГРАММЫ ПОСРЕДСТВОМ МОБИЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	33
ФАБО КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДВС	36
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКИХ ФЛАНЦЕВ В МОНТАЖНЫХ УЗЛАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ЗАМКНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ	39
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	42
РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЕНТИЛЕЙ 15С27НЖ	44
ОБЩИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ИЗНОСА ГЛОБОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ	48
ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЛОБОИДНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ИЗНОСА.....	51
ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БОЛИДА «ФОРМУЛА СТУДЕНТ».....	54
ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА КОМАНДЫ «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»	56
РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ ШЛАМОВ ПВХ	59
ОБОБЩЕННЫЕ ВАРИАНТЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОФАЗНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	62
ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	67
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИНИРОВАННЫХ ФОРМОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ МАЛОЖИРНЫХ РЫБ.....	69
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	72
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОДЕЖДЫ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	75
ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНЫХ ФОРСУНОК НА ПРОЦЕСС ВПРЫСКА ТОПЛИВА.....	78
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	82
НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	87
ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ SIMP	91
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ЗАДАЧ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СМК «ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ» НА МЕТИЗНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	95
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТВОРОЖНОГО ДЕСЕРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ	97
МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ В САЕ-ПАКЕТЕ ANSYS С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ АСТ.....	100
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА БУРОВОГО НАСОСА	103
АНАЛИЗ СПОСОБОВ МАЛОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	107

ГИБРИДНАЯ ОБРАБОТКА: ИНТЕГРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТО-ТЕРМИЧЕСКОЙ И ФИНИШНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИЙ НА ОДНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ.....	111
ПРОГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	115
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЖИГА КАРБОНАТНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА ЭФФЕКТИВНУЮ УДЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ	120
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО С АДГЕЗИОННЫМИ ДОБАВКАМИ.....	124
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПО БИТУМОЕМКОСТИ В АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕМ..	127
ПОДГОТОВКА ВЫБОРКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	132
СТРУКТУРНАЯ ГИБКОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК	135
ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	137
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ В СФЕРЕ ОХРАНЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ПОРЯДКА И ЗАЩИТЫ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	141
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО ШАХТНОГО МЕТАНА	147
ПРИМЕНЕНИЕ БЕЛКОВО-ЛИПИДНОЙ ФРАКЦИИ МОЛОКА, ПОЛУЧЕННОЙ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕМ ЯБЛОЧНЫМ ПЕКТИНОМ, В ТЕХНОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ	150
ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ В МОДЕЛИ ОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЫ	155
УПРАВЛЕНИЕ АМПЕРНОЙ НАГРУЗКОЙ НА ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ СЕРИИ ПРИ ФИКСИРОВАННОМ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВАНН-СВИДЕТЕЛЕЙ	160
REQUIREMENT PLANNING IN MATERIAL RESOURCES AS THE PART OF THE OPTIMUM ENTERPRISE ARCHITECTURE.....	163
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛАНСА АКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ МЕЖДУ ГЕНЕРАТОРОМ И НАГРУЗКОЙ НА ЧАСТОТУ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ.....	165
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО АЦП.....	169

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.080

Акмадиева Т.Р.¹, Захарова М.А.², Потанина О.В.³

^{1,2}Старший преподаватель, ³кандидат педагогических наук, доцент,
Уфимский государственный нефтяной технический университет

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА О НАХОЖДЕНИИ МЕСТА СОПРЯЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО СТЕРЖНЯ

Аннотация

В работе проводится анализ статей о различных деформациях однородных стержней, а также приводятся те области науки и техники, где могут быть применены результаты исследований. Основным пунктом работы является решение новой задачи, в которой рассматривается неоднородный стержень, закрепленный на одном конце. На незакрепленный конец этого стержня действует сила нагрузки, в результате чего этот конец отклоняется. Решена задача о нахождении оптимального места сопряжения этого стержня, чтобы отклонение незакрепленного конца было наименьшим. Ранее задача о неоднородном стержне изучалась мало и результаты, полученные в работе, имеют широкое применение в промышленном производстве, строительстве, авиастроении, в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: стержень, прогиб, место сопряжения, функция нагрузки, дифференциальные уравнения.

Akmadieva T.R.¹, Zakharova M.A.², Potanina O.V.³

^{1,2}Senior lecturer, ³PhD in Pedagogy, Associate professor,
Ufa State petroleum technological University

INVERSE PROBLEM OF FINDING CONJUNCTION PLACE OF INHOMOGENEOUS CORE

Abstract

The work analyzes a series of articles on various deformations of homogeneous cores, provides the areas of science and technology where this knowledge can be applied. The main point of the work is to solve a new problem which considers an inhomogeneous core fixed at one end. The loose end of the core is impacted by the load force which causes the deviation of the end. The problem of finding optimal location of the core conjunction in order to reduce the deviation of the loose end as much as possible has been solved. Previously, the problem of an inhomogeneous core has not been studied properly. The results provided in this work can be widely applied in industrial production, construction, aviation, oil and gas industries.

Keywords: core, deflection, conjunction place, load function, differential equations.

Чем быстрее идет вперед развитие техники, тем большие требования предъявляются к ее качеству. Перед серийным выпуском каждая новая модель тестируется на долговечность ее технических систем. При массовом производстве нельзя обнаружить неисправности в системе, прибегая к ее разборке, так как, тем самым, можно уменьшить срок ее службы. С развитием такой науки, как математическая физика, стало возможным разработать акустические методы диагностики неисправностей системы. Процессы, протекающие в механизмах, являются источниками шума. По характеру этого шума можно судить и о процессах, протекающих в любом объекте исследования. Благодаря этому возникла наука – акустическая диагностика. С помощью методов, разработанных этой наукой, обнаруживают дефекты в судовых механизмах, в авиационных и автотракторных двигателях. По звучанию шпала стало возможным устанавливать потерю контакта с насыпью, что может приводить к железнодорожной катастрофе. Исследования и решения вышеизложенных проблем были рассмотрены в работах [1, 2, 3, 4].

Еще один метод обнаружения дефектов носит название – интегральный метод свободных колебаний. Его применяют при проверке качества посуды, железнодорожных колес и других объектов, издающих характерный звон, вызываемый механическим ударом. Дефект обнаруживают в результате смещения собственной частоты звука. Но, не только по уровню звука можно определить скрытый дефект в объекте исследования.

Под воздействием внешних факторов объект может совершать колебания, по виду которых можно определить какой дефектологический процесс происходит внутри этого объекта. Возникает задача отыскания таких закреплений, которые обеспечивали бы безопасный диапазон частот колебаний. Для решения таких задач используют метод восстановления краевых условий. Эти задачи относятся к обратным задачам математической физики. Именно таким задачам посвящена наша работа. Все эти задачи являются корректно поставленными.

Задача является корректно поставленной на паре пространств S и T, если верны условия:

- 1) $\forall s \in S$ решение задачи существует;
- 2) $\forall s \in S$ решение задачи единствено;
- 3) решение задачи $t = R(s)$ непрерывно зависит от исходных данных S, где $t \in T$.

Задачи, рассмотренные в этой работе, относятся к типу граничных обратных задач. В этих задачах по значениям прогибов в нескольких точках восстанавливают краевые условия и определяют нагрузки, действующие на механическую систему. Такие задачи являются обратными задачами Ильгамова. В работе [5] был рассмотрен однородный стержень определенной длины. Под стержнем понимают одномерное упругое тело (два размера малы по сравнению с третьим), обладающее конечной жесткостью на растяжение, кручение, сжатие и изгиб. Продольные колебания такого тела описывает дифференциальное уравнение вида:

$$-\frac{d}{dx} \left(EF \frac{dw}{dx} \right) - \rho F \frac{d^2 w}{dt^2} = q(x; t).$$

Колебания изгиба этого тела описываются уравнением:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} - \rho F \frac{d^2 w}{dt^2} \right) = q(x; t),$$

где J – момент инерции относительно оси ОУ.

Упругая опора этого стержня недоступна для визуального осмотра. По краевым условиям и условиям сопряжения в точке x_c , где расположена пружина упругой опоры, была произведена диагностика всей системы. Было выявлено, что по этим условиям однозначно устанавливаются местоположение пружины и коэффициент ее жесткости. Также установлено, что достаточно знать значения прогибов в двух точках этого стержня, чтобы определить оптимальное положение этой упругой опоры. Стержни, которые рассматриваются в этих задачах, однородные.

В работе [6] также был рассмотрен однородный стержень, закрепленный на обоих концах. На него действует сила, и в двух точках расположены пружины с известной жесткостью, которые этот стержень удерживают. По этим условиям была решена задача определения коэффициентов жесткости C_1 , C_2 и величины нагрузки, чтобы прогибы стержня были заданными величинами. Результат, полученный при решении этой задачи может быть применен в машиностроении, строительстве, проектировке нефтепроводов и газопроводов. Если в качестве стержня рассмотреть трубопровод, то можно определить величину максимального прогиба, который бы не привел к выходу из строя всей системы. Появляется возможность отслеживать местоположение дефектного участка.

Очень часто приходится сталкиваться с задачами отыскания трещины в балке. Каковы должны быть данные, чтобы решить эту задачу? В работе [7] были определены эти условия. Зная величины прогибов балки в двух точках слева и справа от возможного места дефекта можно определить величину этой трещины C .

К причинам, приводящим к выходу из строя механической системы относятся изгиб и кручение отдельных частей этой системы. Если отождествить элемент, подвергающийся этим воздействиям со стержнем, можно рассмотреть задачу о продольно-поперечном изгибе стержня. В работе [8] эта задача была решена. Формулы, полученные в этой работе, позволяют диагностировать интенсивность поперечных нагрузок и надежность закрепления балок по значениям их прогибов в доступных для осмотра местах. Результаты применяются в строительстве. По ним можно определить возможность обрушения конструкции. Во всех рассмотренных задачах [9, 10, 11, 12, 13, 14] мы имеем дело с однородными стержнями.

Особый интерес представляют обратные задачи для определения места сопряжения и функции нагрузки для неоднородных стержней. Такой тип задач мало изучен, поэтому представляет интерес для исследования. В данной работе рассмотрим такую задачу.

Дан неоднородный стержень, жестко закрепленный на левом конце. На стержень действуют нагрузки y_1 и y_2 , под действием которых правый конец стержня отклоняется на заданную величину. Требуется найти оптимальное место сопряжения этого стержня, чтобы величина отклонения незакрепленного конца была наименьшей. Данная задача ранее не рассматривалась.

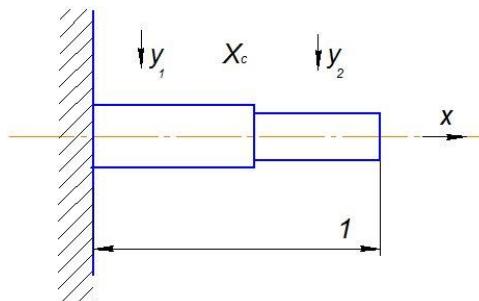


Рис. 1 – Закрепленный стержень без воздействия нагрузки

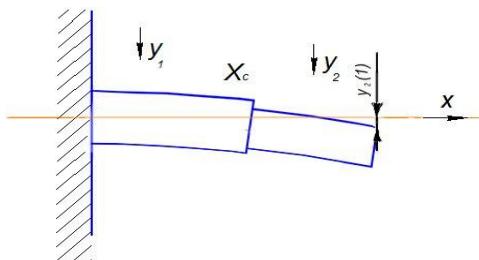


Рис. 2 – Закрепленный стержень под воздействием нагрузки

Для стержня длины l заданы характеристики: B , H , - размеры сечения закрепленного конца стержня, b , h - размеры сечения свободного (незакрепленного) конца стержня и моменты инерции $J_1 = \frac{BH^3}{12}$; $J_2 = \frac{bh^3}{12}$.

Даны краевые условия $\begin{cases} y_1(0) = 0 \\ y'(0) = 0 \end{cases}$, $\begin{cases} y''(1) = 0 \\ y'''(1) = 0 \end{cases}$

и условия сопряжения $\begin{cases} y_1(x_c) = y_2(x_c) \\ y'_1(x_c) = y'_2(x_c) \\ EJ_1 y''_1(x_c) = EJ_2 y''_2(x_c) \\ EJ_1 y'''_1(x_c) = EJ_2 y'''_2(x_c) \end{cases}$

Решим сначала прямую задачу.

Пусть известны все характеристики стержня $B; H; b; h; q_1, q_2$, $q_2 > q_1$, а также место сопряжения x_C , где q_1 - полином, выражающий интенсивность распределенной нагрузки на одной части стержня, q_2 - полином, выражающий интенсивность нагрузки на другой его части, E - модуль упругости Юнга, J - момент инерции относительно оси изгиба. По этим условиям нужно найти функцию отклонения правого конца этого стержня.

Пусть $\frac{q_1}{EJ_1} = f_1$; $\frac{q_2}{EJ_2} = f_2$, где $f_2 > f_1$.

Имеем систему дифференциальных уравнений четвертого порядка $\begin{cases} y^{(4)}(x) = f_1 \\ y^{(4)}(x) = f_2 \end{cases}$,

общее решение которой задается системой

$$\begin{cases} y_1 = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + \frac{f_1 x^4}{24}, \\ y_2 = E + Fx + Gx^2 + Rx^3 + \frac{f_2 x^4}{24} \end{cases}$$

где A, B, C, D, E, F, G, R - неизвестные числовые коэффициенты.

Рассмотрим начальные условия $\begin{cases} y_1(0) = 0 \\ y'_1(0) = 0 \end{cases}$. Исходя из краевых условий, следует, что $\begin{cases} A = 0 \\ B = 0 \end{cases}$, и, значит,

$y_1 = Cx^2 + Dx^3 + \frac{f_1 x^4}{24}$. Аналогично $\begin{cases} y''_2(1) = 0 \\ y'''_2(1) = 0 \end{cases}$. Так как $\begin{cases} 2G + 6R + \frac{f_2}{2} = 0, \\ 6R + f_2 = 0 \end{cases}$ то $\begin{cases} G = \frac{f_2}{4} \\ R = -\frac{f_2}{6} \end{cases}$, откуда

получим

$$y_2 = E + Fx + \frac{f_2}{4}x^2 - \frac{f_2}{6}x^3 + \frac{f_2 x^4}{24} = E + Fx + \frac{f_2}{24}(6x^2 - 4x^3 + x^4).$$

Рассмотрим условия сопряжения в точке x_c :

$$\begin{cases} y'_1(x) = 2Cx + 3Dx^2 + \frac{f_1 x^3}{6} \\ y''_1(x) = 2C + 6Dx + \frac{f_1 x^2}{3} \\ y'''_1(x) = 6D + f_1 x \end{cases}$$

$$\begin{cases} y'_2(x) = F + \frac{f_2}{24}(12x - 12x^2 + 4x^3) = F + \frac{f_2}{6}(3x - 3x^2 + x^3) \\ y''_2(x) = \frac{f_2}{24}(12 - 24x + 12x^2) = \frac{f_2}{2}(x - 1)^2 \\ y'''_2(x) = \frac{f_2}{2}(x - 1) \end{cases}$$

Получим систему уравнений для определения числовых коэффициентов C, D, E, F . Подставим в первое уравнение условий сопряжения $y_1(x_C) = y_2(x_C)$.

I. $y_1(x_C) = y_2(x_C)$

$$Cx_c^2 + Dx_c^3 + f_1 \frac{x_c^4}{24} = E + Fx_c + \frac{f_2}{24}(6x_c^2 - 4x_c^3 + x_c^4).$$

Аналогично, подставим данные в оставшиеся условия.

II. $y'_1(x_C) = y'_2(x_C)$

$$2Cx_C + 3Dx_C^2 + f_1 \frac{x_C^3}{6} = F + \frac{f_2}{6} (3x_C - 3x_C^2 + x_C^3).$$

$$\text{III. } y_1''(x_C) = \frac{J_2}{J_1} y_2''(x_C)$$

$$2C + 6Dx_C + \frac{f_1 x_C^2}{2} = \frac{J_2 f_2}{J_1 \cdot 2} (x_C - 1)^2.$$

$$\text{IV. } y_1'''(x_C) = \frac{J_2}{J_1} y_2'''(x_C)$$

$$6D + f_1 x_C = \frac{J_2}{J_1} f_2 (x_C - 1).$$

Из IV имеем

$$6D = \frac{J_2}{J_1} f_2 x_C - \frac{J_2}{J_1} f_2 x_C f_1 x_C = x_C \left(\frac{J_2}{J_1} f_2 - f_1 \right) - \frac{J_2}{J_1} f_2$$

$$D = \frac{x_C}{6} \left(\frac{J_2}{J_1} f_2 - f_1 \right) - \frac{J_2}{6J_1} f_2.$$

Из III имеем

$$2C + x_C \left(x_C \left(\frac{J_2}{J_1} f_2 - f_1 \right) - \frac{J_2}{J_1} f_2 \right) + \frac{f_1 x_C^2}{2} = \frac{J_2}{2J_1} f_2 (x_C - 1)^2$$

$$2C = \frac{x_C^2}{2} \left(f_1 - \frac{J_2}{J_1} f_2 \right) + \frac{J_2}{2J_1} f_2$$

$$C = \frac{x_C^2}{4} \left(f_1 - \frac{J_2}{J_1} f_2 \right) + \frac{J_2}{4J_1} f_2$$

Из II

$$\left(\frac{x_C^2}{2} \left(f_1 - \frac{J_2}{J_1} f_2 \right) + \frac{J_2}{2J_1} f_2 \right) x_C + \left(\frac{x_C}{2} \left(\frac{J_2}{J_1} f_2 - f_1 \right) - \frac{J_2}{2J_1} f_2 \right) x_C^2 +$$

$$+ f_1 \frac{x_C^3}{6} = F + \frac{f_2}{6} (3x_C - 3x_C^2 + x_C^3).$$

$$\frac{x_C^3}{2} f_1 - \frac{J_2}{2J_1} f_2 x_C^3 + \frac{J_2}{2J_1} f_2 x_C + \frac{x_C^3 J_2}{2J_1} f_2 - \frac{x_3}{2} f_1 - \frac{J_2}{2J_1} f_2 x_C^2 +$$

$$+ \frac{f_1 x_C^3}{6} - \frac{f_2}{2} x_C + \frac{f_2}{2} x_C^2 - \frac{f_2}{6} x_C^3 = F$$

$$\frac{x_C^3}{6} (f_1 - f_2) + \frac{x_C^2}{2} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 \frac{x_C}{2} + \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 = F$$

Подставим в I

$$\frac{x_C^4}{4} f_1 - \frac{x_C^4 J_2}{4J_1} f_2 + \frac{x_C^2 J_2}{4J_1} f_2 + \frac{x_C^4 J_2}{6J_1} f_2 - \frac{x_C^4}{6} f_1 - \frac{J_2}{6J_1} f_2 x_C^3 + \frac{f_1 x_C^4}{24} -$$

$$- \frac{x_C^4}{6} (f_1 - f_2) - \frac{x_C^3}{2} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 - \frac{x_C^2}{2} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 - \frac{f_2 x_C^2}{4} + \frac{f_2 x_C^3}{6} - \frac{x_C^4 f_2}{24} = E$$

$$\frac{x_C^4}{4} \left(f_2 \left(\frac{1}{2} - \frac{J_2}{3J_1} \right) - \frac{f_1}{6} \right) + \frac{x_C^3}{3} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 + \frac{x_C^2}{4} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 = E$$

Таким образом, получим выражения, позволяющие определить функции прогибов.

$$y_1(x) = x^2 \left(\frac{x_C^2}{4} \left(f_1 - \frac{J_2}{J_1} f_2 \right) + \frac{J_2}{4J_1} f_2 \right) + x^3 \left(\frac{x_C}{6} \left(\frac{J_2}{J_1} f_2 - f_1 \right) - \frac{J_2}{6J_1} f_2 \right) + f_1 \frac{x_C^4}{24}$$

$$y_2(x) = \frac{x_C^4}{4} \left(f_2 \left(\frac{1}{2} - \frac{J_2}{3J_1} \right) - \frac{f_1}{6} \right) + \frac{x_C^3}{3} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 + \frac{x_C^2}{4} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 + \\ + x \left(\frac{x_C^3}{6} (f_1 - f_2) + \frac{x_C^2}{2} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 + \frac{x_C}{2} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 \right) + \frac{f_2}{24} (6x^2 - 4x^3 + x^4).$$

С учетом краевых условий получим значение функции прогиба на правом конце стержня:

$$y_2(1) = \frac{x_C^4}{4} \left(f_2 \left(\frac{1}{2} - \frac{J_2}{3J_1} \right) - \frac{f_1}{6} \right) + \frac{x_C^3}{3} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 + \frac{x_C^2}{4} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 + \\ + x \left(\frac{x_C^3}{6} (f_1 - f_2) + \frac{x_C^2}{2} \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) f_2 + \frac{x_C}{2} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 \right) + \frac{f_2}{24} (6 - 4 + 1).$$

Дальнейшие преобразования этого выражения позволяют определить окончательный вид функции прогиба $y_2(1)$.

$$y_2(1) = \frac{x_C^4}{4} \left(f_2 \left(1 - \frac{J_2}{3J_1} \right) - \frac{f_1}{6} \right) + x_C^3 \left(\frac{J_2}{3J_1} + \frac{f_1}{6} - \frac{f_2}{2} \right) + x_C^2 \frac{3}{4} \left(f_2 \left(1 - \frac{J_2}{J_1} \right) \right) + \frac{x_C}{2} \left(\frac{J_2}{J_1} - 1 \right) f_2 + \frac{f_2}{2}.$$

Исходя из полученной формулы видно, что значение прогиба правого конца зависит только от места сопряжения x_C и значений нагрузок f_1 и f_2 , зная которые определяется величина $y_2(x)$. Значит, зная величину прогиба и значения функций нагрузки f_1 и f_2 можно определить место сопряжения, то есть решить обратную задачу.

Рассмотрим задачу на конкретном примере. Расчеты проведем в безразмерных единицах.

Пусть $B = 0,06$, $H = 0,06$, $q_1 = 1$

$$b = 0,03, \quad h = 0,06, \quad q_2 = 2$$

$$J_1 = \frac{0,06 \cdot (0,06)^3}{12}, \quad J_2 = \frac{0,03 \cdot (0,02)^3}{12}, \quad \frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{54}$$

$$f_1 = \frac{q_1}{E J_1} = \frac{925925,92}{E}; \quad f_2 = \frac{10^8}{E}$$

$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^3 = 2 \cdot 10^{12} \text{ кг/см}^3.$$

Пусть $x_C = 0,1$ м

$$f_1 = \frac{925925,92}{2 \cdot 10^{12}} = 462962,96 \cdot 10^{-12} = 0,4629 \cdot 10^{-6}$$

$$f_2 = \frac{10^8}{2 \cdot 10^{12}} = \frac{1}{2 \cdot 10^4} = 0,5 \cdot 10^{-4}$$

$$y_2(1) = 8,8131 \cdot 10^{-7}.$$

Прямая задача решена. Решим обратную задачу. Известна величина прогиба $y_2(1)$ правого конца стержня. Необходимо определить место сопряжения x_C .

$$\text{Пусть } f_1 = \frac{925925,92}{2 \cdot 10^{12}} = 462962,96 \cdot 10^{-12} = 0,4629 \cdot 10^{-6},$$

$$f_2 = \frac{10^8}{2 \cdot 10^{12}} = \frac{1}{2 \cdot 10^4} = 0,5 \cdot 10^{-4}$$

$$J_1 = \frac{0,06 \cdot (0,06)^3}{12} \quad J_2 = \frac{0,03 \cdot (0,02)^3}{12} \quad \frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{54},$$

$$Y_2(1) = 8,8131756 * 10^{-7}.$$

Решив уравнение четвертой степени относительно неизвестной x_C , получили $x_C = 0,1$, единственный корень, который удовлетворяет условию $0 \leq x_C \leq 1$.

Результаты, полученные при решении этой задачи могут быть применены в строительстве, машиностроении, нефтегазовой отрасли. Зная место сопряжения, можно будет оптимизировать отклонение незакрепленного конца балки, что не будет приводить к деформации объектов. Важность рассмотрения задач диагностики систем выходит на

первый план в связи с увеличением техногенных катастроф и опасностями, связанными с изношенностью основных частей механизмов. Методы обнаружения трещин, определения форм и размеров дефектов достаточно хорошо разработаны. Большое значение уделяется разработкам методов виброзащиты. Колебания систем или их отдельных частей приводят к некомфортным условиям работы, а в некоторых случаях эти колебания находятся в опасном для здоровья диапазоне. Поэтому задача отыскания таких закреплений системы, которые обеспечивали бы безопасный диапазон частот выходят на первый план. По этой причине результаты, полученные в ходе решения задачи о неоднородном стержне имеют большое практическое значение и актуальны в настоящее время.

Список литературы / References

1. Кузьмин Р.В. Дифектация судовых механизмов. / Кузьмин Р.В. – М.: Транспорт.1967. – 174 с.
2. Бухтияров И.Д. Исследования по акустической диагностике цилиндро-поршневой системе ДВС / Бухтияров И.Д., Аллилуев В.А. // Труды СибВИМа. – Новосибирск, 1968. – Вып.4. – С. 378-879.
3. Диагностика автотракторных двигателей / Под ред. Н.С.Ждановского. – Л.: Колос, 1977. – 264 с.
4. Васильев Н.А. Экспериментальные исследования колебательных характеристик железнодорожных шпал / Васильев Н.А., Дворников С.И. // Акустический журнал. – 2000. – Т.46, №3. – С. 424-426.
5. Захарова М.А. Статическая задача определения нагрузки, действующей на стержень и жесткости его упругой опоры. / Захарова М.А. // Академический журнал Западной Сибири. – 2010. - №2. – С.50-52.
6. Ахтямов А.М. Обратная задача об определении условий сопряжений и величин постоянной нагрузки, действующих на стержень / Ахтямов А.М., Захарова М.А. // В мире научных открытий. - 2010. - № 4-13. - С. 142-145.
7. Захарова М.А. Определение коэффициентов жесткости пружины при продольно-поперечном изгибе стержня / Захарова М.А., Ахтямов М.А. // В сборнике: Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем. // V Международная научно-техническая конференция молодых специалистов, аспирантов и студентов. - 2011. - С.65-68
8. Ахтямов А.М. Обратная задача для продольно-поперечного изгиба стержня / Ахтямов А.М., Захарова М.А. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2011. - № 4. - С. 31-33.
9. Акмадиева Т.Р. Статическая задача об определении величины постоянной нагрузки, действующей на балку, и величины коэффициента С, характеризующего дефект балки / Акмадиева Т.Р., Захарова М.А. // В мире научных открытий. - 2015. - №12.1(72). - С.351-355.
10. Ахтямов А.М. Идентификация местоположения и коэффициента жесткости пружины упругой опоры стержня / Ахтямов А.М., Захарова М.А. // В сборнике: Математическое моделирование и краевые задачи. // Труды седьмой Всероссийской научной конференции с международным участием. - 2010. - С. 42-44.
11. Ахтямов А.М. Статическая задача об определении величины постоянной нагрузки, действующей на балку, и величины коэффициента С, характеризующего дефект балки / Ахтямов А.М., Захарова М.А. // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2010. - Т. 17. № 6. - С. 838.
12. Ахтямов А.М. Обратная задача об установлении параметра дефекта жесткой балки / Ахтямов А.М., Захарова М.А. // В книге: Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. // Тезисы докладов Международной школы – конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. - 2010. - С. 11.
13. Захарова М.А. Статическая задача определения нагрузки, действующей на стержень и жесткости его упругой опоры / Захарова М.А. // Академический журнал Западной Сибири. - 2010. - № 2. - С. 50-52.
14. Ахтямов А.М. Обратная задача об определении условий сопряжения и величины постоянной нагрузки, действующей на стержень / Ахтямов А.М. , Захарова М.А. // В книге: Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. // Тезисы докладов Международной школы – конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. - 2009. - С. 33.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kuz'min R.V. Difektacija sudovyh mehanizmov [Defectate ship machinery] / Kuz'min R.V. – M.: Transport.1967. – 174 p. [in Russian]
2. Buhtijarov I.D. Issledovanija po akusticheskoj diagnostike cilindro-porshnevoj sisteme DVS [Research on acoustic diagnostics of cylinder-piston system of internal combustion engines / Buhtijarov I.D. , Alliluev V.A. // Trudy [Proceedings] SibVIMa. – Novosibirsk, 1968. – V.4. [release 4] – P. 378-879. [in Russian]
3. Diagnostika avtotraktornyh dvigatelej [Diagnosis of automotive engines] / Pod red. N.S.Zhdanovskogo. – L.: Kolos, 1977. – 264 p. [in Russian]
4. Vasil'ev N.A. Jekspertimental'nye issledovaniya kolebatel'nyh harakteristik zheleznodorozhnyh shpal [Experimental study of the vibrational characteristics of railway sleepers] / Vasil'ev N.A., Dvornikov S.I. // Akusticheskiy zhurnal [Acoustic journal] – 2000. – T.46, №3. – p. 424-426. [in Russian]
5. Zaharova M.A. Sticheskaja zadacha opredelenija nagruzki, dejstvujushhej na sterzhen' i zhestkosti ego uprugoj opory. [The static problem of determining the load acting on the rod and of stiffness of the elastic support] / Zaharova M.A. // Akademicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri. [Academic journal of Western Siberia] – 2010. - №2. – P.50-52. [in Russian]
6. Ahtjamov A.M., Obratnaja zadacha ob opredelenii uslovij soprjazhenij i velichin postojannoj nagruzki, dejstvujushhih na sterzhen'. [The inverse problem concerning the determination of the terms of the mates and the values of the permanent load acting on the rod] / Ahtjamov A.M., Zaharova M.A. // V mire nauchnyh otkrytij [In the world of scientific discovery] - 2010. - № 4-13. - P. 142-145. [in Russian]
7. Zaharova M.A. Opredelenie kojefficientov zhestkosti pruzhiny pri prodol'no-poperechnom izgibe strehnja . [Determination of the stiffness of the spring in longitudinal-transverse bending of the rod] / Zaharova M.A., Ahtjamov M.A. // V sbornike: Matematicheskoe i kompjuternoe modelirovanie estestvennonauuchnyh i social'nyh problem. [In the book: Mathematical and computer modeling of natural-science and social problems] // V Mezdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija molodyh specialistov, aspirantov i studentov. [V international scientific-technical conference of young specialists, postgraduates and students] - 2011. - P.65-68 [in Russian]

8. Ahtjamov A.M. Obratnaja zadacha dlja prodl'no-poperechnogo izgiba sterzhnja. [The inverse problem for the longitudinal-transverse bending of the rod] / Ahtjamov A.M., Zaharova M.A. // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij [Structural mechanics of engineering constructions and buildings] - 2011. - № 4. - P. 31-33. [in Russian]
9. Akmadieva T.R. Staticeskaja zadacha ob opredelenii velichiny postojannoj nagruzki, dejstvujushhej na balku, i velichiny koeficiente S, harakterizujushhego defekt balki. [The static problem of determining the value of the permanent load acting on the beam, and the magnitude of the coefficient C, characterizing the defect beams] / Akmadieva T.R., Zaharova M.A. // V mire nauchnyh otkrytij [In the world of scientific discovery] - 2015. - №12.1(72). - P.351-355. [in Russian]
10. Ahtjamov A.M. Identifikacija mestopolozhenija i koeficiente zhestkosti pruzhiny uprugoj opory sterzhnja. [Identification of the location and the stiffness coefficient of the spring elastic support of the rod] / Ahtjamov A.M., Zaharova M.A. // V sbornike: Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi. [In the book: Mathematical modeling and boundary problems] // Trudy sed'moj Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. [Proceedings of the seventh Russian scientific conference with international participation] - 2010. - P. 42-44. [in Russian]
11. Ahtjamov A.M. Staticeskaja zadacha ob opredelenii velichiny postojannoj nagruzki, dejstvujushhej na balku, i velichiny koeficiente S, harakterizujushhego defekt balki. [The static problem of determining the value of the permanent load acting on the beam, and the magnitude of the coefficient C, characterizing the defect beams / Ahtjamov A.M., Zaharova M.A. // Obozrenie prikladnoj i promyshlennoj matematiki. [Review of applied and industrial mathematics] - 2010. - T. 17. № 6. - P. 838. [in Russian]
12. Ahtjamov A.M. Obratnaja zadacha ob ustanovlenii parametra defekta zhestkoj balki. [Inverse problem of finding parameter of the defect rigid beam] / Ahtjamov A.M., Zaharova M.A. // V knige: Fundamental'naja matematika i ee prilozhenija v estestvoznanii. [In the book: Fundamental mathematics and its applications in the natural Sciences] // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj shkoly – konferencii dlja studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. [Abstracts of the International school – conference for students, postgraduates and young scientists] - 2010. - P. 11. [in Russian]
13. Zaharova M.A. Staticeskaja zadacha opredelenija nagruzki, dejstvujushhej na sterzhen' i zhestkosti ego uprugoj opory. [The static problem of determining the load acting on the rod and of stiffness of the elastic support] / Zaharova M.A. // Akademicheskiy zhurnal Zapadnoj Sibiri. [Academic journal of West Siberia] - 2010. - № 2. - P. 50-52. [in Russian]
14. Ahtjamov A.M. Obratnaja zadacha ob opredelenii uslovij soprijazhenija i velichiny postojannoj nagruzki, dejstvujushhej na sterzhen'. [The inverse problem concerning the determination of the conditions of conjugation and magnitude of the permanent load acting on the rod] / Ahtjamov A.M., Zaharova M.A. // V knige: Fundamental'naja matematika i ee prilozhenija v estestvoznanii [In the book: Fundamental mathematics and its applications in the natural Sciences] // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj shkoly – konferencii dlja studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. [Abstracts of the International school – conference for students, postgraduates and young scientists] - 2009. - P. 33. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.091

Аллахвердов Б.М.¹, Полинкевич К.Ю.²

¹Кандидат технических наук, доцент, ²Аспирант,

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I
**ИТЕРАЦИОННЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ СТЕРЖНЕЙ
ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ НА КРУЧЕНИЕ**

Аннотация

Предлагается описание методики расчета на прочность тонкостенных анизотропных стержней открытого профиля, основанной на итерационном способе последовательного удовлетворения условиям равновесия и совместности деформаций. На первом цикле итераций получено решение Власова В.З. На последующих циклах получено решение с учетом анизотропии, деформации сдвига и нормальной поперечной деформации. Рассматривается вопрос сходимости результатов. На примере современного углепластика показано как меняются характеристики материала в зависимости от направления армирующих волокон.

Ключевые слова: теория упругости, анизотропия, метод итераций, напряжения, деформации.

Allakhverdov B.M.¹, Polinkevich K.Y.²

¹PhD in Engineering, lecturer, ²postgraduate student, Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

ITERATIVE METHOD OF CALCULATION FOR THIN-WALLED ANISOTROPIC CORES OF OPEN PROFILE ON TORSION

Abstract

The article provides the description of the calculation technique which determines the strength of thin-walled anisotropic cores of an open profile based on an iterative method of successive accordance with the conditions of equilibrium and deformations compatibility. The first cycle of iterations allowed us to obtain V.Z.Vlasov solution. In subsequent cycles, we obtained the solution which takes into account the anisotropy, the deformation of the shift and normal transverse deformation. The question of the results convergence is studied in the article. The example based on modern carbon fiber illustrates how the material characteristics differ depending on the direction of the reinforcing fibers.

Keywords: elasticity theory, anisotropy, iterative method, stress, deformation.

Задача о кручении изотропного тонкостенного стержня открытого профиля без учета сдвигов решена В.З. Власовым [1]. Для уточнения этого решения используется метод итераций [2], [3] основанный на последовательном удовлетворении условиям равновесия и совместности деформаций. Аналогичный путь решения распространен на стержни, выполненные из анизотропных материалов [4].

Предварительный этап

Будем считать, что поперечное сечение тонкостенного стержня открытого профиля состоит из n анизотропных пластин толщиной t_i , жестко соединенных между собой вдоль длинных ребер. (рис.1). В качестве основной принимается гипотеза недеформируемости контура поперечного сечения.

Стержень закручивается заданным крутящим моментом M . При этом функция углов закручивания $\varphi(z)$ поперечных сечений по длине стержня подлежит определению.

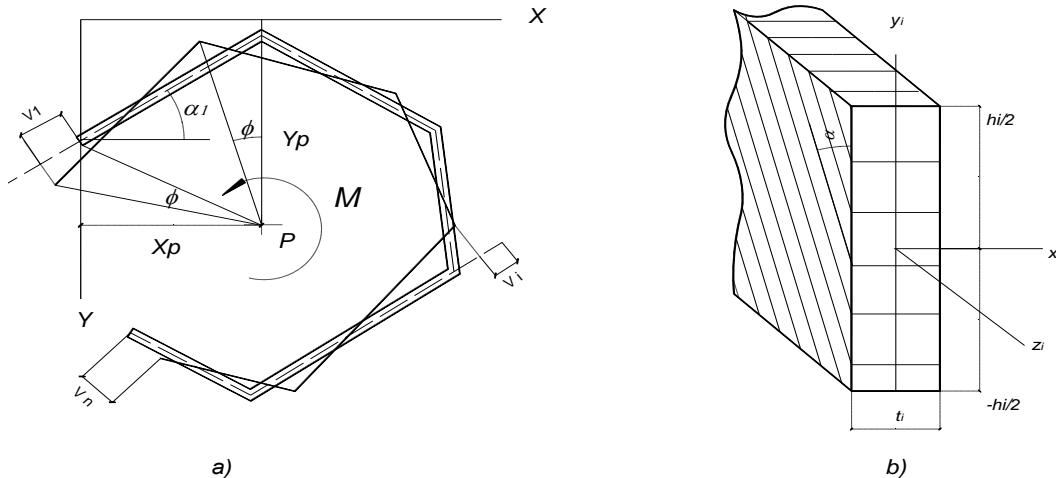


Рис. 1
а – Поперечное сечение тонкостенного стержня открытого профиля

(до и после поворота на угол φ);

б – Один из анизотропных элементов сечения (главные оси анизотропии под углом α к оси y_i)

Для всего стержня выбирается произвольная глобальная система координат X, Y . Координата Z направлена вдоль оси стержня (рис.1.а). В то же время для каждого i -го элемента вводится местная координатная система x_i, y_i, z_i (рис.1.б). При кручении любое сечение стержня с координатой z поворачивается на угол $\varphi(z)$ относительно центра кручения P , имеющего координаты X_p, Y_p подлежащие определению. При таком повороте каждый элемент перемещается как в своей плоскости, так и из плоскости. Перемещения V_i в плоскости y_i, z_i соответствуют изгибу элемента, перемещения же из плоскости вызваны кручением этой пластины.

Перемещения V_i отдельной пластинки можно описать через координаты центра кручения X_p, Y_p и угол закручивания поперечных сечений относительно этого центра $\varphi(z)$:

$$V_i = (y_i - Y_p) \cos \varphi(z) - (x_i - X_p) \sin \varphi(z) = r_i \cdot \varphi(z) \quad (1)$$

где r_i – нормаль к оси i -й пластинки, проведенная из точки P .

Таким образом кривизна i элемента в его плоскости становится функцией:

$$\chi_i = -V_i''(X_p, Y_p, \varphi(z)) \quad (2)$$

Считается, что пластины выполнены из различных анизотропных материалов, упругие свойства которых обычно задаются в главных осях анизотропии y, z (вдоль и поперек волокон материала). Обобщенный закон Гука для случая плоского напряженного состояния принимает следующий вид:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & \eta_{\sigma y}/E_y \\ -\nu_{zy}/E_z & 1/E_z & \eta_{\sigma z}/E_z \\ \eta_{\tau y}/G_{yz} & \eta_{\tau z}/G_{yz} & 1/G_{yz} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \end{vmatrix} \quad (3)$$

Здесь E_y, E_z, G_{yz} – соответственно модули упругости и сдвига;

$\varepsilon_y, \varepsilon_z$ – относительные удлинения (линейные деформации) в направлении действия нормальных напряжений;

γ_{yz} – относительный сдвиг – величина изменения прямого угла между площадками, на которых действуют соответствующие касательные напряжения;

ν_{yz}, ν_{zy} – коэффициенты влияния линейной деформации по направлению z на линейную деформацию по направлению y и наоборот, при этом соблюдается отношение $\frac{\nu_{yz}}{E_y} = \frac{\nu_{zy}}{E_z}$.

$\eta_{\sigma y}, \eta_{\sigma z}, \eta_{\tau y}, \eta_{\tau z}$ – коэффициенты влияния линейной деформации на сдвиговую деформацию по направлениям z, y и наоборот, при этом соблюдаются отношения $\frac{\eta_{\sigma y}}{E_y} = \frac{\eta_{\tau y}}{G_{yz}}$ и $\frac{\eta_{\sigma z}}{E_z} = \frac{\eta_{\tau z}}{G_{yz}}$.

В случае, если при заданных для некоторой системы координат y, z упругих постоянных требуется найти упругие постоянные для новой системы y_1, z_1 , повернутой по отношению к первой на угол α (рис.1 б), модули и коэффициенты для новых осей определяются по формулам, приведенным в [2]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{E_{y1}} &= \frac{\cos^4 \alpha}{E_y} + \left(\frac{1}{G_{yz}} - \frac{2\nu_{yz}}{E_y} \right) \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \frac{\sin^4 \alpha}{E_z} \\ \frac{1}{E_{z1}} &= \frac{\sin^4 \alpha}{E_y} + \left(\frac{1}{G_{yz}} - \frac{2\nu_{zy}}{E_z} \right) \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \frac{\cos^4 \alpha}{E_z} \\ \frac{1}{G_{y1,z1}} &= \frac{1}{G_{yz}} + \left(\frac{1+\nu_{yz}}{E_y} + \frac{1+\nu_{zy}}{E_z} - \frac{1}{G_{yz}} \right) \sin^2 2\alpha \\ \nu_{y1,z1} &= E_y \left[\frac{\nu_{yz}}{E_y} - \frac{1}{4} \left(\frac{1+\nu_{yz}}{E_y} + \frac{1+\nu_{zy}}{E_z} - \frac{1}{G_{yz}} \right) \sin^2 2\alpha \right]; \quad \frac{\nu_{y1,z1}}{E_{y1}} = \frac{\nu_{z1,y1}}{E_{z1}} \\ \eta_{\sigma,y1} &= E_y \left[\frac{\sin^2 \alpha}{E_z} - \frac{\cos^2 \alpha}{E_y} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{G_{yz}} - \frac{2\nu_{yz}}{E_y} \right) \cos 2\alpha \right] \sin 2\alpha \\ \eta_{\sigma,z1} &= E_z \left[\frac{\cos^2 \alpha}{E_z} - \frac{\sin^2 \alpha}{E_y} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{G_{yz}} - \frac{2\nu_{yz}}{E_y} \right) \cos 2\alpha \right] \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (4)$$

На рис.2 показаны графики зависимости модуля упругости и модуля сдвига углепластика марки M60J/Epoxy [5] от угла поворота осей анизотропии.

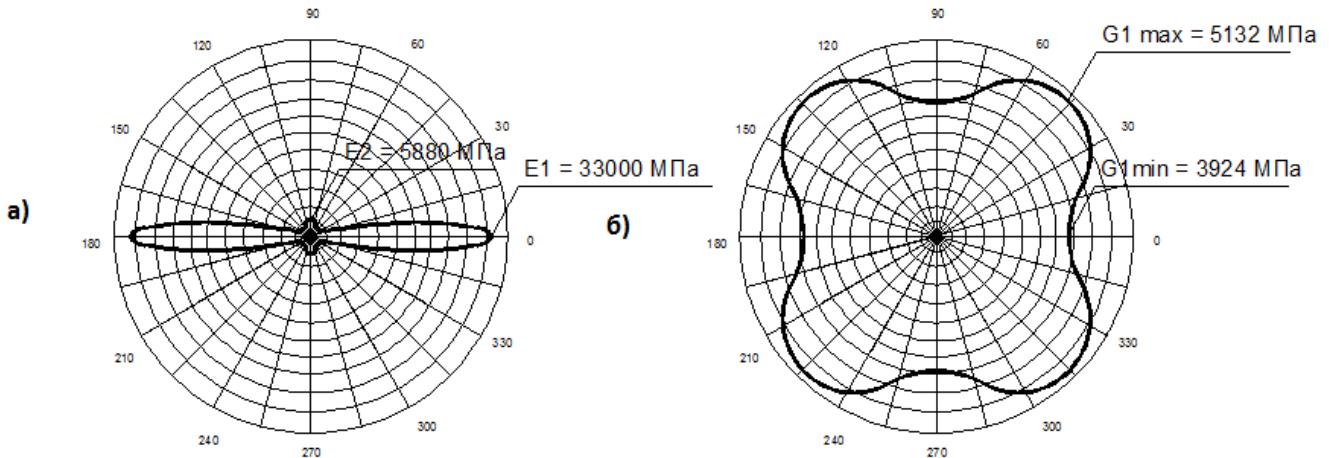


Рис. 2 – Полярные диаграммы изменения модулей углепластика M60J/Epoxy при повороте координатных осей:
а – продольной упругости; б – сдвига

Цикл 1.

1. Первое приближение (первый шаг итераций).

1.1. Принимаем на первом этапе для каждой i -ой пластины анизотропный материал со следующими упругими характеристиками: E_{zi} (та же величина, что и в реальном материале); остальные модули стремятся к бесконечности $E_{yi} = \infty$; $G_{yzi} = \infty$. В этом случае закон Гука имеет вид:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_{zi} \\ \varepsilon_{yi} \\ \gamma_{yzi} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1/E_{zi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sigma_{zi} \\ \sigma_{yi} \\ \tau_{yzi} \end{vmatrix} \quad (5)$$

1.2. При таком виде закона Гука $\varepsilon_{yi}(y, z) = \frac{\partial V_i(y, z)}{\partial y} = 0$,

что соответствует гипотезе о ненадавливании волокон.

1.3. Тогда $V_i(y, z) = \int \varepsilon_{yi}(y, z) dy + V_{0i}(z) = V_{0i}(z)$.

1.4. Также из (5) $\gamma_i(y, z) = \frac{\partial V_i}{\partial z} + \frac{\partial W_i}{\partial y} = 0$.

$$1.5. \text{ Тогда } W_i(y, z) = -\int \frac{\partial V_i}{\partial z} dy + W_{0i}(z) = -V'_{0i}(z) \cdot y + W_{0i}(z), \\ \text{ и } \varepsilon_{zi}(y, z) = \frac{\partial W_i}{\partial z} = W'_{0i}(z) - V''_{0i}(z) \cdot y = \varepsilon_{0i}(z) + \chi_{0i}(z) \cdot y \quad (6)$$

Получена известная в сопротивлении материалов зависимость - гипотеза плоских сечений (отдельно для каждого элемента), где $\varepsilon_{0i}(z)$ и $V''_{0i}(z) = -\chi_{0i}(z)$ неизвестные функции. Здесь $\varepsilon_{0i}(z)$ можно трактовать как продольную деформацию оси стержня, а $\chi_{0i}(z)$ - как кривизну его оси.

При этом на гранях пластин должны соблюдаться условия совместности деформаций: $\varepsilon_{zi}^k = \varepsilon_{zi+1}^h$ - так выглядят эти условия между двумя соседними пластинами (индекс k означает деформацию волокна $y = -h_i / 2$, индекс h - деформацию волокна $y = h_{i+1} / 2$).

Так между первой и второй пластинами имеется связь между деформациями:

$$\varepsilon_{01} + \chi_1 \cdot \frac{-h_1}{2} = \varepsilon_{02} + \chi_2 \cdot \frac{h_2}{2}, \\ \varepsilon_{02} + \chi_2 \cdot \frac{-h_2}{2} = \varepsilon_{03} + \chi_3 \cdot \frac{h_3}{2} \text{ - между второй и третьей и т.д.}$$

1.7. Продольная деформация оси любой пластины выражается через продольную деформацию оси первой из них (похожая идея высказана в [3]):

$$\varepsilon_{0n} = \varepsilon_{01} - \chi_1 \cdot \frac{h_1}{2} - \chi_2 \cdot h_2 - \dots - \chi_i \cdot h_i - \dots - \chi_n \cdot \frac{h_n}{2} \quad (7)$$

Выражение (7) содержит четыре неизвестных величины: Xp , Yp , $\varphi''(z)$, ε_{01} . Для их определения следует составить глобальные уравнения равновесия.

1.8. Первое уравнение $\sum_n N_i = \sum_n \int \varepsilon_{zi} E_{zi} A_i dy = 0$ позволяет определить функцию $\varepsilon_{01}(z)$.

1.9. Два других уравнения $\sum_n M_x = 0$ и $\sum_n M_y = 0$ служат для определения координат центра кручения Xp , Yp .

Здесь следует учесть, что изгибающий момент в плоскости каждой пластины записывается так:

$$M_i = \frac{E_{zi} J_{xi}}{\rho_i} \simeq E_{zi} J_{xi} \cdot V''_i(X_p, Y_p, \varphi''(z)) \quad (8)$$

1.10. Возникающие в элементе поперечные силы представляются в следующем виде:

$$Q_i = \frac{dM_i}{dz} = E_{zi} J_{xi} \cdot V'_i(X_p, Y_p, \varphi''(z)), \quad (9)$$

1.11. Поперечные силы создают часть крутящего момента, вызванного изгибом элементов (то, что у Власова [1] названо моментом стесненного кручения):

$$M_i^{uz} = Q_i \cdot r_i = E_{zi} J_{xi} \cdot V'_i(X_p, Y_p, \varphi''(z)) \cdot r_i \quad (10)$$

Здесь r_i - плечо силы по (2).

1.12. Вторая составляющая крутящего момента связана с свободным кручением каждой пластины:

$$M_i^{c\&kp} = G_{zi} (h \cdot t^3 / 3) \cdot \varphi'(z) \quad (11)$$

1.14. Уравнение равновесия $\sum_n M_z = M_{kp}$, из которого можно найти функцию угла закручивания $\varphi(z)$, становится дифференциальным уравнением:

$$\sum_n M_i^{c\&kp} + \sum_n M_i^{uz} = A \cdot \varphi''(z) + B \cdot \varphi'(z) = M_{kp} \quad (12)$$

где $A = \sum_n E_{zi} J_{xi} \cdot V'_i(X_p, Y_p) \cdot r_i$ - аналог секториальной жесткости по [1], $B = \sum_n G_{zi} (h \cdot t^3 / 3)$ - крутильная жесткость, что повторяет уравнение В.З. Власова [1].

Решив его при заданных граничных условиях, зависящих от способов закрепления стержня, получаем функцию углов закручивания $\varphi(z)$.

На этом заканчивается определение неизвестных первого этапа.

1.15. Далее на этом этапе окончательно определяется функция нормальных напряжений в каждом элементе $\sigma_{z,i}^{(1)} = (\varepsilon_{0i}(z) - V''_{0i}(z) \cdot y) \cdot E_{zi}$.

1.16. Из уравнения равновесия $\frac{\partial \tau_{yz,i}^{(1)}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{z,i}^{(1)}}{\partial z} = 0$ определяется функция касательных напряжений:

$$\tau_{yz,i}^{(1)} = - \int^y \frac{\partial \sigma_{z,i}^{(1)}}{\partial z} dy + \tau_{0yz,i}^{(1)}. \quad (13)$$

Здесь, согласно теореме Бредта, поток касательных напряжений на границе элементов сохраняется т.е. $t_i \cdot \tau_{yz,i}^{(1)} = t_{i+1} \cdot \tau_{yz,i+1}^{(1)}$. Исходя из этого условия, и зная, что на свободных гранях отсутствуют касательные напряжения, определяются произвольные функции $\tau_{0yz,i}^{(1)}$

1.17. Из второго уравнения равновесия $\frac{\partial \sigma_{y,i}^{(1)}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz,i}^{(1)}}{\partial z} = 0$ определяется функция поперечных нормальных напряжений:

$$\sigma_{y,i}^{(1)} = - \int^y \frac{\partial \tau_{yz,i}^{(1)}}{\partial z} dy + \sigma_{0y,i}^{(1)}. \quad (14)$$

Теперь, если по теореме Бредта, поток касательных напряжений на границе элементов сохраняется, то также должен сохраняться поток поперечных нормальных напряжений: $t_i \cdot \sigma_{y,i}^{(1)} = t_{i+1} \cdot \sigma_{y,i+1}^{(1)}$. Исходя из этого условия, и зная, что на свободных гранях отсутствуют эти напряжения, определяются произвольные функции $\sigma_{0y,i}^{(1)}$.

Следует обратить внимание на следующие факты – в этом цикле:

- Продольные нормальные напряжения по высоте – линейные функции в пределах каждого элемента.
- Продольные нормальные напряжения по длине – являются функциями, зависящими от $\varphi''(z)$.
- Касательные напряжения по высоте – квадратные параболы в пределах элемента.
- Касательные напряжения по длине – являются функциями, зависящими от $\varphi'''(z)$.
- Поперечные нормальные напряжения по высоте – кубические параболы в пределах элемента.
- Поперечные нормальные напряжения по длине – являются функциями, зависящими от $\varphi^{IV}(z)$.

На определении напряженного состояния заканчивается первый цикл итераций.

Цикл 2.

На втором цикле остается та же гипотеза неизменяемости контура и все предпосылки первого цикла. За неизвестные также принимаются:

- Функция углов закручивания стержня $\varphi^{(2)}(z)$
- Координаты центра кручения Xp, Yp .
- Продольная деформация оси элементов $\varepsilon_{0i}^{(2)}(z)$
- Кривизна оси элементов $\chi_{0i}^{(2)}(z)$

Здесь и далее ⁽²⁾ – принадлежность второму циклу, ⁽¹⁾ – принадлежность первому.

Матрица модулей принимает обычный вид по (5):

$$\begin{vmatrix} 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & \eta_{\sigma y}/E_y \\ -\nu_{zy}/E_z & 1/E_z & \eta_{\sigma z}/E_z \\ \eta_{\tau y}/G_{yz} & \eta_{\tau z}/G_{yz} & 1/G_{yz} \end{vmatrix}$$

В этом варианте учтено влияние сдвигов и поперечных нормальных напряжений на общее напряженное состояние стержня при кручении.

В начале второго цикла по закону Гука для анизотропного тела (5) находим для каждого элемента функцию деформаций вдоль оси x - $\varepsilon_{y,i}^{(2)}$:

$$\varepsilon_{y,i}^{(2)} = \sigma_{y,i}^{(1)}/E_{y,i} - \nu_{yz,i}\sigma_{z,i}^{(1)}/E_{y,i} + \tau_{yz,i}^{(1)}\eta_{\sigma y,i}/E_{y,i} \quad (15)$$

Зная функцию деформации $\varepsilon_{y,i}^{(2)}$, можно найти соответствующую функцию перемещения $V_i^{(2)}$, пользуясь уравнением связи между деформациями и перемещениями:

$$V_i^{(2)} = \int \varepsilon_{y,i}^{(2)} dy + V_{0i}^{(2)}(z) \quad (16)$$

с точностью до произвольной функции $V_{0i}^{(2)}(z)$.

Далее определяется функция деформации сдвига по обобщенному закону Гука (5):

$$\gamma_{yz,i}^{(2)} = \sigma_{y,i}^{(1)} \eta_{\tau y,i} / G_{yz,i} + \sigma_{z,i}^{(1)} \eta_{\tau z,i} / G_{yz,i} + \tau_{yz,i}^{(1)} / G_{yz,i} \quad (17)$$

Затем вновь находим функцию продольных деформаций ε_z по процедуре, описанной в первом цикле:

$$\begin{aligned} \gamma_{zx} &= \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial z} \\ \frac{\partial \gamma_{zy}}{\partial z} &= \frac{\partial W}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \\ \varepsilon_{z,i}^{(2)} &= \frac{\partial W}{\partial x} = \int \frac{\partial \gamma_{yz,i}^{(2)}}{\partial z} dy - \int \frac{\partial^2 V_i^{(2)}}{\partial z^2} dy + \varepsilon_{0,i}^{(2)} + V_{0,i}^{(2)} \cdot y = \\ &= \int \frac{\partial}{\partial z} (\sigma_y^{(1)} \eta_{\tau y} / G_{yz} + \sigma_z^{(1)} \eta_{\tau z} / G_{yz} + \tau_{yz}^{(1)} / G_{yz}) dy - \\ &- \int dy \int \frac{\partial^2}{\partial z^2} (\sigma_y^{(1)} / E_y - \nu_{yz} \sigma_z^{(1)} / E_y + \tau_{yz}^{(1)} \eta_{\tau y} / E_y) dy + \\ &+ \varepsilon_{0,i}^{(2)} - \chi_{0,1}^{(2)} \cdot y \end{aligned} \quad (18)$$

Продольная деформация (17) состоит из двух частей: последние два слагаемых повторяют линейное распределение этой деформации по высоте элемента на первом цикле и зависят от производных функции $\varphi^{(2)}(z)$, первые же слагаемые создают более высокий порядок распределения по высоте, соответствующий напряжениям, определенным на первом этапе - они зависят от производных функции $\varphi^{(1)}(z)$.

Все дальнейшие вычисления ведутся по последовательности, изложенной выше для первого цикла, причем для величин, зависящих от $\varphi^{(2)}(z)$, решение сводится к тому же виду дифференциального уравнения (12). Однако величины, зависящие от уже определенной функции $\varphi^{(1)}(z)$, будучи перенесенными в правую часть этого уравнения, играют роль увеличения или уменьшения величины заданного крутящего момента. Таким образом уравнение (12) трансформируется в следующее:

$$\sum_n M_i^{c6,kp} + \sum_n M_i^{uz} = M_{kp} \pm \sum M_{don}(\varphi^{(1)}(z)), \quad (19)$$

с теми же граничными условиями, как и на первом цикле.

Дальнейшие уточнения решения (следующие циклы) проводятся в той же последовательности.

Как следует из вышеизложенного, на каждом этапе при вычислении напряжений происходят операции дифференцирования по координате z и интегрирования по координате y . Такой подход к задаче определения напряжений приводит результату, представленному в табл.1.

Таблица 1

Напряжения	Первый цикл		Второй цикл	
	Высшая степень производной $\varphi(z)$	Высшая степень разложения по координате y	Высшая степень производной $\varphi(z)$	Высшая степень разложения по координате y
σ_z	$\varphi''(z)$	y^4	$\varphi^{VI}(z)$	y^5
τ_{yz}	$\varphi'''(z)$	y^2	$\varphi^{VII}(z)$	y^6
σ_y	$\varphi^{IV}(z)$	y^3	$\varphi^{VIII}(z)$	y^7

На этих фактах базируется сходимость данного итерационного процесса - при увеличении циклов до числа m напряженное состояние по длине стержня l зависит от возрастания степени производных функции $\varphi(z)$, т.е. приращение напряжений пропорционально величине $1/l^{2m}$. С другой стороны напряженное состояние по высоте стержня h с доведением числа циклов до m характеризуется увеличением влияния высоты элементов в виде h^{2m} . Следовательно на каждом цикле можно оценивать добавку к первоначальному решению пропорциональной величине $(h/l)^{2m}$.

При отношении $h/l=1/3$ на втором цикле поправка к напряжениям $\sigma_{z,i}^{(1)}$ пропорциональна величине $(1/3)^4=0.012$, а на третьем уже 0.15^{-4} . Процесс вычисления напряжений имеет высокую скорость сходимости, обычно достаточно 2 – 3 циклов, чтобы получить необходимую точность решения.

Список литературы / References

1. Власов В.З., Тонкостенные упругие стержни, Стройиздат, 1940 г.
2. Аллахвердов Б.М. Итерационный метод расчета балок с изменяющимися по высоте характеристиками. Исследования по механике материалов и конструкций.(сб. научн.статей)/Вып.12/ Петерб. Гос. Универ. Путей сообщ. – СПб,2002.-С.30 –34, Деп. ВИНИТИ.№ 1400-В2002.

3. Полинкевич К.Ю. Итерационный способ расчета слоистых балок на прочность. Известия Петербургского университета путей сообщения. /Вып 2 (35)/ Петерб. Гос. Универ. Путей сообщ. –СПб,2013.-С.148 –153
4. Аллахвердов Б.М. Полинкевич К.Ю. Итерационный способ расчета анизотропной балки на прочность. Известия Петербургского университета путей сообщения. /Вып 2 (39)/ Петерб. Гос. Универ. Путей сообщ. – СПб,2014.-С.73 –79
5. Попов А.А. Сопротивление материалов (теория и задачи). Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1956, стр. 476.
6. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки. Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва, 1957, стр. 463.

Список литературы на английском языке / References in English

1. VZ Vlasov, Tonkostennie uprugie sterzni [Thin walls elastic beams], Stroizdat [construction publishing], 1940.
2. BM Allakhverdov. Iteracionnii metod rascheta balok s izmenyaushimisya po visote harakteristikami [Iterative method of calculation of beams with variable height characteristics]. Issledovaniya po mechanike materialov I konstrukcii (sb. nauchn. statei)/Vip 12/ Peterb. Gos. Univer. Putei soobch. [Research on the mechanics of materials and structures.(collected scientific articles)/Edd.12/ St. Petersburg. The State University of Communications. St. Petersburg]. –SPb,2002.-P.30 –34, Dep. VINITI.№ 1400-B2002.
3. KY Polinkevich. Iteracionnii sposob rascheta sloistich balok na prochnost'[An iterative method of calculation of layered beams for strength] Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobcheniya [Proceedings of the St. Petersburg University of Railways]. / Issue 2 (35) / St. Petersburg State University of Railways. SPb, 2013.-p.148 -153
4. BM Allakhverdov, KY Polinkevich. Iteracionnii sposob rascheta anizotropnoi balki na prochnost'[The iterative method of calculation of the anisotropic beam strength] Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobcheniya [Proceedings of the St. Petersburg University of Railways]. / Issue 2 (39) / St. Petersburg State University of Railways. SPb, 2014.-p.73 -79
5. AA Popov. Soprotivlenie materialov (teoriya I zadachi) [Strength of Materials (theory and tasks).]. Gosudarstvennoe nauchno-technicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noi literature [State scientific and technical publishing engineering literature]. Moscow, 1956, P. 476.
6. SG Lekhnickii. Anizotropnie plastinki [Anisotropic plates]. Gosudarstvennoe izdatel'stvo techniko-teoreticheskoi literature [State Publishing House technical and theoretical literature]. Moscow, 1957, P. 463.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.027

Беличенко Р.И.¹, Бerezkin Е.Д.²

¹Аспирант, ²кандидат технических наук,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ТОКА ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДУСТРОЙСТВ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы разработки малогабаритного датчика тока, встраиваемого в комплектные распределющие устройства напряжением 0,4-10кВ, и проводится анализ влияния внешних магнитных полей на его работу.

Ключевые слова: датчик тока, комплектное распределение, низковольтная сеть.

Belichenko R.I.¹, Berezkin E.D.²

¹Postgraduate student, ²PhD in Engineering,

Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

DEVELOPMENT OF CURRENT TRANSDUCERS FOR LOW VOLTAGE COMPLETE DISTRIBUTING BOARDS

Abstract

This paper considers the approach to the development of small-sized current transducers built in complete distributing boards with voltage 0,4-10kV, and the analysis of an external magnetic field influence on their performance is made.

Keywords: current transducer, complete distributing board, low voltage network.

Aктуальность разработки датчиков тока для комплектных распределительных устройств напряжением 0,4 - 10 кВ возникла в связи с ростом генерируемых мощностей электроустановок низкого напряжения, в частности, в сетях распределенной генерации аддитивных энергетических систем. Так, при мощности электроустановки в несколько мегаватт и напряжении 0,4 кВ, ток короткого замыкания на сборных шинах комплектного распределительного устройства может превышать десятки килоампер.

С целью предотвращения разрушения комплектного распределительного устройства и минимизации ущерба от тока к.з., к релейной защите, действующей на отключение, предъявляются требования абсолютной селективности и максимального быстродействия. Таким требованиям отвечает только защита, выполненная на принципе сравнения токов всех присоединений сборных шин, т.е. дифференциальная защита с установкой датчиков тока на каждом присоединении [1]. В существующих комплектных распределительных устройствах низкого напряжения (КРУНН) расстояние между токоведущими шинами составляет несколько сантиметров [2], что не позволяет использовать в качестве датчиков тока традиционные торOIDальные трансформаторы тока с ферромагнитным сердечником.

Таким образом, возникает задача разработки и исследования малогабаритного, встраиваемого датчика тока, обладающего незначительными погрешностями и линейной характеристикой в широком диапазоне изменения первичного тока. В качестве такого датчика предлагается использовать трансреактор [3, 4]. Для установки на

шинопроводах КРУНН предлагается выполнить датчик тока, состоящий из П-образного сердечника, собранного из листов электротехнической стали и двух обмоток, размещенных на вертикальных стержнях сердечника и соединяемых последовательно.

С целью проведения экспериментальных исследований был изготовлен П-образный трансреактор с числом витков $W_{лев} = W_{прав} = 1000$ в. Размеры датчика и расположение шин показаны на рис. 1.

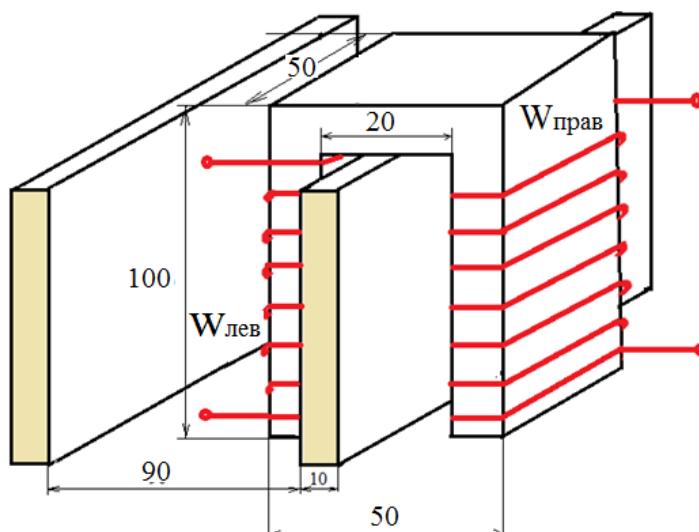


Рис. 1 – Схематическое изображение трансреакторного датчика тока

Выполненный таким образом датчик тока подвержен влиянию внешних магнитных полей, которое выражается в появлении на выходе обмотки напряжения помехи, приводящей к ложной работе защиты.

Для расчета величины выходного сигнала датчика необходимо иметь описание магнитного поля в пространстве около шин. В первом приближении можно считать, что силовые линии замыкаются только по сердечнику и зазору и выполнить задачу, используя методы расчета нелинейных магнитных цепей [5]. Основная трудность таких расчетов заключается в определении магнитного сопротивления отдельных участков цепи. Приближенная аппроксимация нелинейных характеристик приводит к существенным погрешностям вычислений. В связи с этим, более целесообразно определить выходной сигнал датчика тока, используя физическое моделирование магнитного поля в пространстве около шин. Для упрощения расчетных соотношений примем следующие допущения, незначительно влияющие на результат исследований: поле \mathbf{H} в пространстве, окружающем проводник с током, будем считать плоскопараллельным, а магнитную проницаемость сердечника μ примем равной бесконечности.

Для выяснения картины магнитного поля шины с током можно воспользоваться моделированием его другим полем, а именно полем постоянного тока [6].

Модель магнитного поля шины с током состоит из двух тонких круглых дисков из проводящего материала (меди). Эти диски соединены по периметру с помощью медных заклепок, как показано на рис. 2.

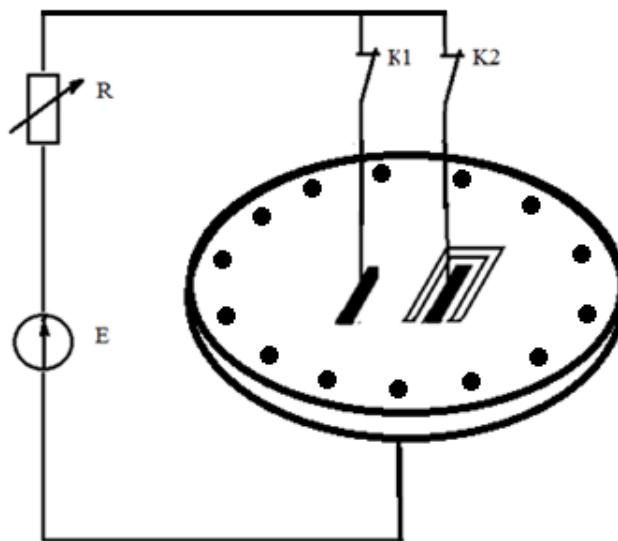


Рис.2 – Схематическое изображение физической модели магнитного поля

На верхнем диске вырезана модель магнитопровода, а к месту расположения шины и центру нижнего диска подключены проводники от источника постоянного тока. Центр нижнего диска на основании теоремы Бутройда [7] будет эквивалентен бесконечно-удаленной точке.

Плоскопараллельное магнитное поле выражается функцией потока $V(M)$,

Шину с током можно с некоторыми погрешностями заменить точечным источником таким, что функция потока будет иметь в окрестности этой точки логарифмическую особенность

$$V(M) \rightarrow \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{r_{MN}}$$

Поле модели описывается функцией потенциала $U(M)$.

В точке присоединения проводника к модели поле потенциала будет иметь такую же особенность, как и поле потенциала тока утечки уединенного провода

$$U(M) = \frac{i_{mod}}{2\pi d} \ln \frac{1}{r}$$

где d - толщина проводящего слоя модели.

Действительно

$$I_{mod} = \iint_s \delta ds = \iint_s \gamma E ds = d \int_0^{2\pi} \gamma E dl = 2\pi r d \gamma E,$$

$$\text{отсюда } E = \frac{I_{mod}}{2\pi r d \gamma};$$

$$U(M) = \int_{M_0}^M Edl = - \int_1^r \frac{i_{mod} dr}{2\pi r d \gamma} = \frac{i_{mod}}{2\pi d \gamma} \ln \frac{1}{r}$$

Наряду с этим обе функции удовлетворяют одинаковым граничным условиям. Теперь воспользуемся тем фактом, что если функции описываются одним и тем же уравнением и удовлетворяют одинаковым граничным условиям, то по теореме единственности они имеют одинаковые решения. Следовательно, в нашем случае функцию потока можно заменить функцией потенциала. Сравнив источники $V(M)$ и $U(M)$, найдем связь между ними

$$V(M) : U(M) = i : \frac{i_{mod}}{\gamma d}, \quad \text{то есть} \quad V(M) = \frac{\gamma d}{i_{mod}} U(M).$$

Следовательно, найти $V(M)$ можно по результатам измерений $\frac{i_{mod}}{\gamma d}$ предварительно построив картину эквипотенциальных линий $U(M)$. Измерение величины $\frac{i_{mod}}{\gamma d}$ производилось следующим образом. Из материала модели толщиной d была вырезана тонкая длинная полоска и включена последовательно с моделью к источнику постоянного тока. Затем с помощью двойного щупа, у которого расстояние между щупами Δt равно ширине полоски m , измерялось напряжение в середине полоски. Можно показать, что это напряжение соответствует величине $\frac{i_{mod}}{\gamma d}$.

Действительно

$$i_{mod} = \iint_s \delta ds = \delta s = \delta m d = \gamma E m d \frac{\Delta t}{\Delta t} = \gamma \Delta U \frac{m}{\Delta t} d = \gamma d \Delta U,$$

$$\text{так как } \Delta U = E \Delta t, \text{ отсюда } \Delta U = \frac{i_{mod}}{\gamma d}.$$

$$\text{Следовательно, мы имеем } V(M) = \frac{U(M)}{\Delta U} \quad .$$

Величина потока в трубке по толщине сердечника z определяется, как $\Phi j = Vj z$, где j - номер силовой трубы, в соответствии с картиной поля. Суммируем потокосцепление катушек датчика

$$\Psi = \sum_{k=1}^n \Psi_k = \sum_{l=1}^n V_j w_l z;$$

где w_l - число витков, которое пронизывает поток j - той силовой трубы (определяется как произведение удельного числа витков на соответствующую часть длины катушки). ЭДС, индукируемая в обмотках датчика тока, определяется по формуле $e = - \frac{d\Psi}{dt}$

Для расчета полезного сигнала достаточно вычислить потокосцепление одной из катушек, поскольку силовые линии распределяются симметрично, и обе катушки находятся в одинаковых условиях. Результаты расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Потокосцепление одной катушки

Номера трубок	$\frac{Vj}{i}$	$\frac{\Phi j 10^{-3}}{i}$	w_l	Ψ_k/i
1	1,054	52,66	130	0,85
2	1,185	59,2	780	5,06
3	1,317	65,7	1000	19,7
4	1,45	72,4		
5	1,58	78,9		
6	1,71	85,4	960	6,34
7	1,843	92	930	6,24
8	1,984	98,7	752	5,04
9	2,109	105,4		
10	2,24	112		

$$\sum \Psi_k / i = 43,23$$

Для расчета помехи следует вычислять потокосцепления обеих катушек. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

$$\sum \Psi_{k,лев} / i = 5,324; \sum \Psi_{k,прав} / i = 2,694$$

Суммарный полезный сигнал на выходе датчика тока $e_{\text{пол.}} = 2 \frac{d\Psi}{dt} = 86,46 \frac{di}{dt}$. Для расчета помехи от соседней шины вычисляются отдельно потокосцепления левой и правой катушек и результат суммируется (с учетом направления эдс).

$$\text{Отсюда } e_{\text{лев.}} = 5,324 \frac{di}{dt}; \quad e_{\text{прав.}} = 2,694 \frac{di}{dt}; \\ e_{\text{пом.}} = (5,324 - 2,694) \frac{di}{dt} = 2,63 \frac{di}{dt}.$$

Таблица 2 – Потокосцепление двух катушек

Номера трубок	$\frac{\Phi j}{i} \cdot 10^{-3}$	w_l	$\Psi_{k \text{лев.}}/i$	$\Psi_{k \text{прав.}}/i$
1	115,7	76	0,0532	
2	115	511	0,65	
3	113,8	893	1,16	
4	112,5	1000	3,1	
5	111,2			
6	110			
7	109,4	600	0,36	
8	108,8			
9	107,6	1000		
10	106	881		1,4
11	105	291		1,058
12	104,2			0,236

Помехоустойчивость датчика тока можно оценить отношением эдс помехи к эдс полезного сигнала

$$\epsilon = e_{\text{пом.}} / e_{\text{пол.}} = 2,63 \frac{di}{dt} / 86,46 \frac{di}{dt} = 0,032.$$

Таким образом, величина помехи, наводимой на описанном датчике, составляет 3,2 % от величины полезного сигнала при одном и том же токе собственной и соседней шин.

В результате экспериментальных исследований макетного образца П-образного трансреакторного датчика тока, была получена величина помехи равная 2,9, что хорошо согласуется с данными, полученными с использованием модели.

Таким образом, использование изложенного выше метода анализа позволяет с достаточной степенью точности оценивать помехоустойчивость датчика тока.

Список литературы / References

- Чернобровов Н. В., Семенов В. А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998. С.800.
- Дорошев К.И. Комплектные распределительные устройства 6-35 кВ. – М.: Энергоиздат, 1982. С. 376.
- Кутявин И.Д. Трансформаторы тока с воздушным зазором // Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени Политехнического Института имени С.М. Кирова. 1951. №70.
- Беличенко Р.И. Использование трансреакторов в качестве датчиков тока релейных защит электроустановок низкого напряжения. // Материалы Пятой международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – 2014». – Томск: Министерство образования и науки РФ, Томский политехнический университет, 2014. — 652 с.
- Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. – М.-Л.: издательство «Энергия», 1966. С.407.
- Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: издательство «Энергия», 1968. С.488.
- Шимони К. Теоретическая электротехника. – М.: издательство «Мир», 1964. С.775.

Список литературы на английском языке / References in English

- Chernobrovov N.V., Semenov V.A. Releynaya zashchita energeticheskikh sistem [Relay protection of power systems.] – M.: Energoatomisdat, – 1998. – P.800. [In Russian]
- Doroshev K.I. Komplektnye raspredelitelnye ustroystva 6-35 kV. [Cubicle switchboards of 6-35 kV.] – M.: Energoizdat, – 1982. – P. 376 [In Russian]
- Kutyaev I.D. Transformatory toka s vozдушnym zazorom. [Current transformers with air gap] // Bulletin of Tomsk Order of the Red Banner of Labour Polytechnic Institute S.M. Kirov memorial. – 1951. – No 70. [In Russian]
- Belichenko R.I. Ispolzovaniye transreaktorov v kachestve datchikov toka releynykh zashchit elektrostanovok nizkogo napriazheniya. [Using transreactors as current sensors of relay protection of low voltage electric installation.] // Proceedings of the Fifth International Scientific and Technical Conference “Electrical energy industry as it seen by Youth – 2014”. Tomsk: Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Tomsk Polytechnic University, 2014. – 652 p. [In Russian]
- Neiman L.R., Demirchyan K.S. Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki [Theoretical Foundations of Electrical Engineering.] – M.-L.: “Energy” Publishing House, – 1966. – P. 407. [In Russian]
- Govorkov V.A. Elektricheskiye i magnitnye polia [Electric and magnetic fields.] – M.: Publishing [In Russian]
- Shimoni K. Teoreticheskaya elektrotekhnika. [Theoretical Electrical Engineering.] – M.: “Mir” Publishing House, – 1964. – P.775. [In Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.057

Бидуля Ю.В.¹, Семихин Д.В.², Семихина И.Г.³

¹Кандидат филологических наук, доцент,

²Доцент кафедры информационных систем, кандидат физико-математических наук, доцент,

³Старший преподаватель,

Тюменский государственный университет

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ФЕЛИНОЛОГИЧЕСКОЙ ВЫСТАВКИ

Аннотация

Описана задача экспертной оценки животных при проведении фелинологической выставки. Приведены существующие стандарты оценки качества животных, являющиеся основой для принятия решения экспертом. Разработана математическая модель экспертной оценки животного. Показаны функциональные возможности программного модуля, позволяющего на основе математической модели осуществлять выбор оптимальной системы судейства для домашнего животного по его описанию.

Ключевые слова: принятие решения, экспертная оценка, фелинологическая выставка.

Bidulya Yu.V.¹, Semikhin D.V.², Semikhina I.G.³

¹PhD in Philology, Associate professor,

²PhD in Physics and Mathematics, Associate professor,

³Senior lecturer,

Tyumen state University

DEVELOPMENT OF DECISION MAKING SUPPORT SYSTEM WHEN SELECTING FELINOLOGICAL EXHIBITION

Abstract

The paper describes the task of an expert evaluation of the animals at feline exhibitions. It provides existing assessment standards to evaluate the quality of animals that become the basis of the experts' solutions. The mathematical model of expert assessment of an animal is developed. The paper shows the functionality of a program module, which allows to carry out the selection of an optimum judging system for a pet by its description on the basis of a mathematical model.

Keywords: decision making, expert assessment, feline exhibition.

Сколько существует человек, примерно столько же рядом с ним существовали и кошки. Люди постоянно вносили изменения во внешний вид этих животных, селекционируя их и выводя все новые и новые породы. Для того, чтобы иметь возможность сравнить одну кошку с другой, стали организовывать выставки животных. Со временем на выставках появились новые действующие лица – эксперты, оценивающие параметры животного на выставке. Эксперт описывает животное основываясь на общепринятый стандарт той или иной породы.

Стандарт – это формализованное и структурированное описание того, как должна выглядеть идеальная кошка определенной породы.

В настоящее время существует большое количество фелинологических систем племенного разведения кошек. Одним из отличий таких систем друг от друга является свое видение того, как должна выглядеть та или иная порода. Соответственно стандарт одной и той же породы в разных системах разнится в описании.

Можно предположить, что в таком случае при описании одной и той же породы в стандартах различных систем будет использоваться свой набор слов.

Человек, знающий стандарты, прочитав описание животного, может сказать какой системе племенного разведения это животное больше соответствует. Владелец кошки не обязан знать наизусть стандарты всех систем. При этом участвовать в выставках хотелось бы максимально эффективно. В связи с чем появилась идея разработки web-сервиса, функцией которого было выдавать рекомендации владельцу животного в какой системе его лучше выставлять.

Интерфейс web-сервиса предусматривает две экранные формы: «Режим обучения» и «Режим эксперта». В первую можно вносить эталонные экспертные описания для тренировочной выборки, привязав их к системе судейства (WCF, FIFe) и указав оценку (рис. 1). Во второй накопленные данные можно использовать для анализа описания животного, полученного от эксперта на одной из выставок и получения вероятностной оценки – в какой фелинологической системе данное животное будет более высоко оценено.

Система:

WCF

Результат:

отлично

Описание животного:

Глаза. Отличной формы. достаточно большие. Оранжевые.
Уши. Большие. Отличной формы и постава.
Тело. Среднего размера, отличных пропорций.
Хвост. Средней длины. Ровный.

Занести в базу данных

Рис. 1 – Ввод данных для тренировочной выборки

Оценка эксперта представляет текст, имеющий регламентированную структуру. Описание должно в обязательном порядке содержать оценку по каждому признаку породы (*аспекту*): (голова, глаза, уши, тело, хвост и т. д.). Оценки, как правило, качественные, а не количественные. Приведем пример описания животного по стандарту FIFE:

Голова. Крупная, угловатых линий. Подбородок широкий с переходом. Нос прижат.

Глаза. Средней величины, зеленые, правильного постава.

Уши. Крупные, высокого постава. Чуть разведены.

Тело. Крупное, массивное, растянутое.

Хвост. Прямой, в пропорции к телу.

Шерсть. Отличной текстуры и длины. Отличный воротник. Мрамор четко выражен.

Кондиция. Выставочная.

Анализ экспертных заключений показал, что лексика описания не ограничивается стандартом, эксперт волен выражать свое мнение так, как ему удобно. Стандарт указывает лишь на приоритеты оценок, которые выражаются неявно, в описательной форме.

Цель исследования. Предположим, что для конкретного животного существует некоторая зависимость между значениями признаков и описанием стандарта породы, которая выражается в том, какими оценочными словами или терминами эксперт описывал животное на выставке. Тогда, имея в качестве входных данных набор оценок экспертов для одного и того же животного, можно с некоторой вероятностью прогнозировать, по какому стандарту породы выставочные результаты окажутся наиболее успешными.

Такого рода зависимости выявляются методами математической лингвистики путем кластеризации или классификации текстов.

Методика эксперимента. Для реализации данного приложения применялся наивный байесовский классификатор, обученный на униграммах и биграммах. Суть метода состоит в следующем.

1. Формируется тренировочная выборка из текстов оценок в уже известных стандартах и известным результатом оценки: «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно». Были сформированы следующие классы:

WCF-excellent, WCF-good, WCF-fair, FIFE-excellent, FIFE-good, FIFE-fair.

2. Каждый текст подвергается предварительной обработке, включающей следующие преобразования:

- Замена множественных пробелов на одинарный;
- Удаление знаков препинания и специальных символов;
- Перевод всех символов в нижний регистр;
- Разбиение на отдельные слова;
- Выделение основы каждого слова (стемминг) с применением алгоритма Портера [1] для русского языка.

3. Для каждого класса оценки в определенном стандарте вычисляются частоты вхождения слова (вернее, его основы).

4. Для каждого слова вычисляется вероятность принадлежности классу по формуле [2]:

$$\hat{P}(w|c) = \frac{\text{count}(w,c)+1}{\text{count}(c)+|V|} \quad (1)$$

где $P(w|c)$ – вероятность обнаружения слова w в документе класса c , предположительно независимая от длины документа и вычисляемая с применением аддитивного слаживания Лапласа;

$\text{count}(w,c)$ – число раз, когда слово w встречается во всех документах класса c ;

$\text{count}(c)$ – число слов во всех документах класса c ;

V – объем словаря всех документов (число уникальных слов).

Вычисленные вероятности являются *результатом обучения* классификатора и далее применяются для классификации пользовательских текстов оценок, введенных в систему.

5. Пользовательский текст, введенный в окно программы, подвергается обработке, согласно пунктам 2 и 3.

6. Для пользовательского текста вычисляются вероятности принадлежности одному из классов, определенных в пункте 1 по формуле:

$$P(c/d) = P(c) P(w_1/c) P(w_2/c) \dots P(w_n/c) \quad (2)$$

где $P(c/d)$ – вероятность принадлежности текста d классу c ;

$P(c) = N_c/N$ – вероятность класса c , N_c – количество текстов для каждого класса, N – общее количество текстов;

n – количество уникальных слов в тексте d .

Далее полученные классы ранжируются по величине вероятности $P(c/d)$. В зависимости от места в рейтинге той или иной оценки можно предположить о наиболее подходящем стандарте для оценки животного, описание которого было введено пользователем. К примеру, результат ранжирования может выглядеть так:

1. *WCF-excellent*,
2. *FIFE-fair*,
3. *WCF-good*,
4. *WCF-fair*,
5. *FIFE-excellent*,
6. *FIFE-good*.

Для окончательного заключения была разработана система правил для каждого типа ранжирования.

Результаты. Тренировочная выборка была составлена из 48 текстов оценок животных одной породы, из них 30 текстов – оценки в стандарте WCF, и 18 текстов — в стандарте FIFE.

Результат работы классификатора оценивался при помощи следующего показателя: фактическое количество призовых мест на выставках для данного животного, полученное путем опроса пользователей системы – владельцев животных. Эти данные вводятся при регистрации на сайте. В качестве критерия использовался показатель точности: отношение числа совпадений оценки в стандарте, выданной системой, и фактических результатов выставок, к общему числу текстов, отнесенных системой к данной оценке.

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результат оценки работы классификатора

Стандарт	Оценка	Число правильных оценок системы	Число ошибочных оценок	Точность
WCF	<i>excellent</i>	20	4	0,83
WCF	<i>good</i>	8	3	0,73
WCF	<i>fair</i>	2	1	0,67
FIFE	<i>excellent</i>	12	1	0,92
FIFE	<i>good</i>	5	2	0,71
FIFE	<i>fair</i>	1	0	1,00

В дальнейшем планируется расширить классификацию на другие стандарты породы, а также изучить влияние признаков породы на оценку экспертов в каждом стандарте. Разработанная система будет использоваться для сбора экспериментальных данных.

Список литературы / References

1. P. Willett .The Porter stemming algorithm: then and now// Program: Electronic Library and Information Systems. – 2006. – Vol. 40, fasc. 3. – P. 219–223.
2. D. Jurafsky, J. H. Martin. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition Pearson. – Prentice Hall, 2009. – 988 p.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.163

Бондаренко Е.В.¹, Шайлин Р.Т.², Филиппов А.А.³, Сологуб В.А.⁴

¹ORCID: 0000-0003-2065-9227, Доктор технических наук, профессор,

²ORCID: 0000-0002-5727-4278, Ведущий инженер,

³ORCID: 0000-0002-8957-9762, Кандидат технических наук,

⁴ORCID: 0000-0001-9352-170X, Кандидат технических наук, доцент,

Оренбургский государственный университет

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, АДАПТИРОВАННОЙ К ПАРАМЕТРАМ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация

Работа содержит методические указания, позволяющие разработать оптимальную сеть заправочных станций природным газом, обслуживающих городской маршрутный транспорт. Представлены: показатель адаптированности заправочного пункта, выраженный в виде целевой функции, позволяющий оценить заправочную сеть с позиции доступности для клиентов, на основе которого проводится сравнение вариантов созданных объектов заправочной структуры; методика проведения анализа совместимости заправочного пункта с парком автобусов закрепленных на определенном маршруте. Приведен пример анализа совместимости автобусных маршрутов и существующей АГНКС.

Ключевые слова: компримированный природный газ, заправочная станция, стационарный заправочный модуль, передвижной автогазозаправщик, автомобильная газонаполнительная компрессорная станция, газобаллонное оборудование, автобус, газификация, метан.

Bondarenko E.V.¹, Shaylin R.T.², Filippov A.A.³, Sologub V.A.⁴

¹ORCID: 0000-0003-2065-9227, PhD in Engineering, Professor, ²ORCID: 0000-0002-5727-4278, Leading engineer,

³ORCID: 0000-0002-8957-9762, PhD in Engineering,

⁴ORCID: 0000-0001-9352-170X, PhD in Engineering, Associate professor, Orenburg State University

FORMATION OF GAS STATION INFRASTRUCTURE ADATED TO PARAMETRES OF PASSENGERS' ROUTES TRANSPORT

Abstract

The work contains guidelines enabling the development of an optimal network of natural gas filling stations which serve urban buses. The following information is presented in the article: Adaptability rate of a filling point, expressed as an objective function, which allows evaluating a gas network with regard to its accessibility for customers on the basis of which the comparison of variations of created objects related to the filling structure is conducted; methodology for the analysis of the charging points compatibility with the bus park fixed on a particular route. An example of the compatibility analysis of bus routes and the existing automatic gas filler stations is performed.

Keywords: compressed natural gas, gas station, stationary filling module, mobile refueller, automobile gas-filling compressor station, gas cylinder equipment, bus, gasification, methane.

В городе Оренбурге расширение использование компримированного природного газа в качестве моторного топлива началось в 2012 г. с пассажирского маршрутного транспорта. На сегодняшний день в автобусном парке города имеется около 200 машин работающих на КПГ. Среди этого количества 20 автобусов работают исключительно на газе, то есть, оснащены заводской однотопливной системой питания. Этот факт говорит о том, что перевозчики заинтересованы в дальнейшем использовании данного топлива в качестве основного, и переходят от переоборудования находящейся в эксплуатации техники к обновлению парка газовыми автобусами. Однако процесс газификации автомобильного транспорта г. Оренбурга сдерживается рядом факторов, среди которых основным является отсутствие заправочной инфраструктуры, что для пассажирского маршрутного транспорта выражается отрицательным влиянием заправочного процесса на параметры работы. Для решения проблемы, учитывая наличие всего одной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС), необходимо формировать заправочную структуру по принципу «материнская – дочерняя заправка», адаптированной к параметрам работы пассажирского маршрутного транспорта, как к основному источнику развития рынка КПГ в г. Оренбурге [1, С. 20], [2, С. 42]. Предложенные нами разработки позволят открыть новые перспективы использования природного газа в качестве моторного топлива для городского пассажирского транспорта.

Отрицательное влияние заправочного процесса на параметры работы пассажирского маршрутного транспорта проявляется в нарушении очередности выездов на рейс, по причине несогласованности режимов работы средств заправки и автобусов, а также удалённости заправочного пункта. Таким образом, необходимо говорить об адаптированности заправочного пункта, который оценивается с помощью разработанного нами коэффициента удовлетворенности доступностью объектов обслуживания $K_{уд}$ [3, С. 19].

$$K_{уд} = \frac{(t_{раб} - t_{обсл})\delta P - P_{крит}}{t_{раб} \cdot \delta P - P_{крит}} \rightarrow 1,$$

при $t_{раб} - t_{обсл} \geq t_{крит} = P_{крит} / \delta P$, (1)

где $P_{крит}$ – критическая результативность деятельности, усл. ед.;

δP – удельная единица результативности деятельности, усл.ед/ч;

$t_{раб}$ – время работы водителя или автобуса, с момента выезда из автопарка и заканчивая возвращением в автопарк, мин (ч);

$t_{обсл}$ – время обслуживания на заправке, мин (ч);

$t_{\text{крит}}$ – критически возможное время прохождения обслуживания на заправке, мин (ч).

Предложенный нами коэффициент $K_{уд}$ отражает долю влияния объекта обслуживания на результат деятельности потребителя, обращающегося на объект обслуживания во время выполнения работы или при подготовке к работе.

Этот коэффициент показывает необходимость осуществления мероприятий направленных на повышение эффекта от эксплуатации автобуса на природном газе. Если коэффициент равен 1 – 0,95 – то никаких мероприятий не следует проводить, если ниже 0,95 – то требуется создание внутримаршрутного расписания заезда на заправку или приближение заправочного пункта.

Для определения требуемых мероприятий при $K_{уд} < 0,95$ необходимо провести анализ маршрута по нескольким условиям, представленным на рисунке 1. По результатам этого анализа маршруты городских пассажирских перевозок разделены на несколько категорий. Первая категория – не требует никаких мероприятий, вторая категория – требует разработать внутримаршрутное расписание заезда на заправку, третья категория – требует приблизить заправочный пункт.

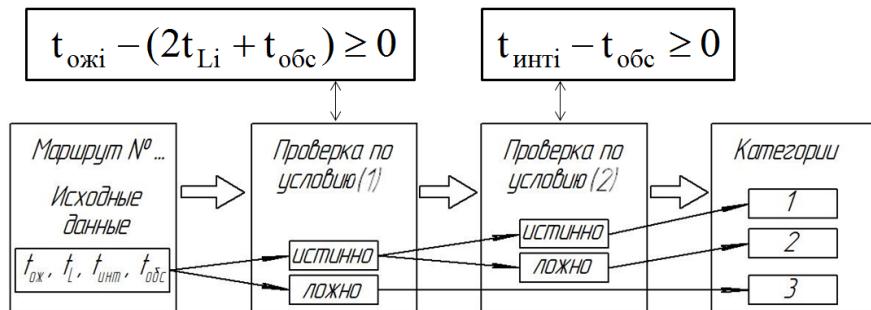


Рис. 1 – Анализ маршрутов на признак совместимости заправочного пункта с i-ым маршрутом:

$t_{ожi}$ – время между выездами на i-ый маршрут, мин (ч);

t_{Li} – время затрачиваемое на пробег до заправки от конечной i -ого маршрута, мин (ч);

$t_{обс}$ – время нахождения на заправочном посту, мин (ч);

$t_{\text{инт}i}$ – интервал движения автобусов i -ого маршрута, мин (ч).

Для маршрутов города Оренбурга был проведен подобный анализ, результаты которого представлены на рисунке 2.

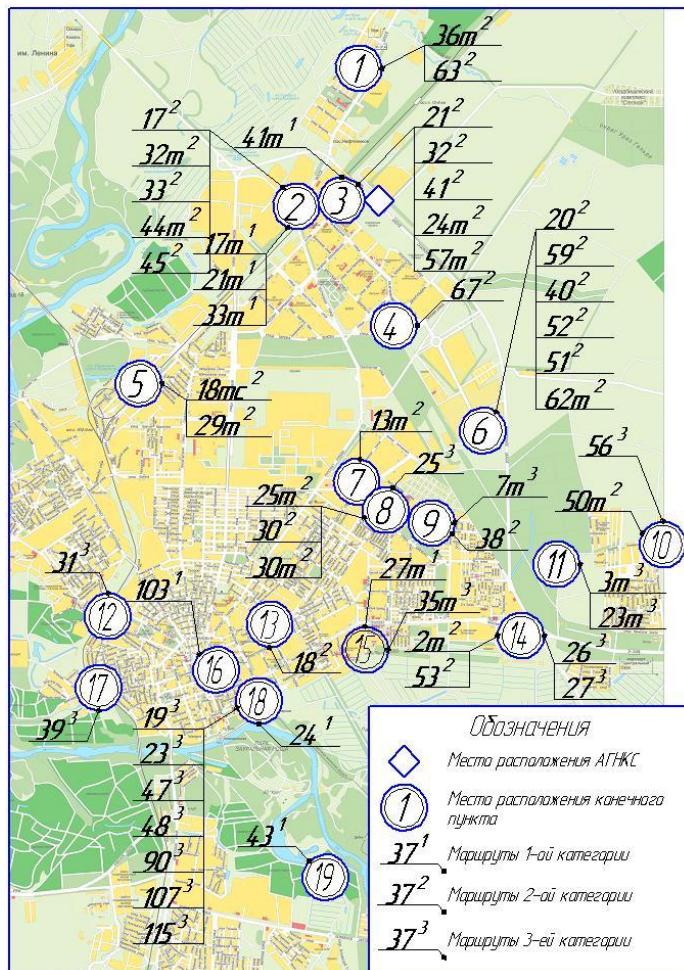


Рис. 2 – Схема размещения конечных пунктов с указанием маршрутов разных категорий

Как видно на рисунке 2, большинство маршрутов, чьи площадки межрейсового ожидания располагаются вблизи АГНКС, относятся ко второй категории, чем дальше данные площадки располагаются от АГНКС, тем больше становится маршрутов третьей категории.

Формирование внутримаршрутного расписания для маршрутов второй категории проводится по алгоритму методики «Выбор средств заправки метаном с учетом показателей работы на маршруте», представленной в работе [4, С. 27]. Пример внутримаршрутного расписания (при параллельной и пересекающейся форме обслуживания) представлен на рисунке 3.

Организация обслуживания маршрута №5 (параллельная форма обслуживания)

$\dots \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow [6] \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow [12] \rightarrow 6 \rightarrow [12] \rightarrow \text{повторение цикла}$

Организация обслуживания маршрута №6 (параллельная форма обслуживания)

$\dots \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow [3] \rightarrow [4] \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow [7] \rightarrow [8] \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow [11] \rightarrow "12" \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow "15" \rightarrow "16" \rightarrow \dots \rightarrow 17 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow \text{повторение цикла}$

Обозначения: x – обслуживаемые автобусы;
 $[x]$ – необслуживаемые автобусы;
 (x) – автобус обслуживаемы на резервном посту;
 $"x"$ – неперегородленные автобусы для работы на КПГ.

Организация обслуживания маршрутов №1, 2, 3, 4, 7 (пересекающаяся форма обслуживания)

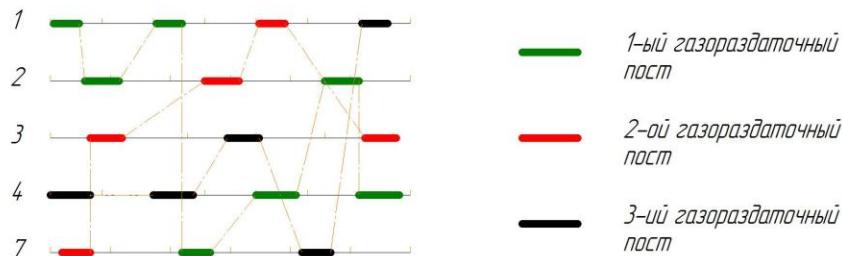


Рис. 3 – Пример организации обслуживания на заправочных постах для маршрутов 2-ой категории

Параллельная форма обслуживания подразумевает закрепление заправочного поста за определенным маршрутом и применяется, если имеется одно из двух условий:

- объём потребности в топливе автобусами одного маршрута составляет 75% от объема стационарного заправочного модуля;

- общее время заправки транспортных средств одного маршрута и времени пополнения заправочного модуля составляют более 6 часов (при предполагаемом времени работы заправочной станции – 8 часов).

Если ни одно из условий не выполняется, то маршруты используют любые свободные посты, т.е. применяется пересекающаяся форма обслуживания. Таким образом, разработав внутримаршрутные расписания можно получить $K_{уд} = 0,95 - 1$, но этот способ не всегда помогает, так как есть маршруты (третьей категории) у которых время на заправку превышает время отдыха.

Поэтому, есть необходимость приблизить заправку к конечной остановке маршрута. Выбор месторасположения заправки ограничивается требованиями, описанными в нормативных документах по безопасной эксплуатации АГНКС, а также перевозки и хранения природного газа. Для автобусных маршрутов города Оренбурга, соблюдая условия 2 формулы на рисунке 1 и требований нормативных документов, проводилось определение таких мест (рисунок 4). Пополнение газом стационарных заправочных модулей будет осуществляться при помощи передвижных автогазозаправщиков, который будет с определенной периодичностью совершать рейсы на заправочный пункт.



Рис. 4 – Размещение заправочных пунктов для маршрутов 3-ей категории г. Оренбурга

Выбранные места размещения заправочных пунктов позволит значительно уменьшить «плечо заправки» (примерно в 4 раза). При этом производственные мощности на созданных заправочных пунктах определяются на основе методики «Выбор средств заправки метаном с учетом показателей работы на маршруте» [4, С. 27].

Наши разработки позволяют сформировать структуру заправочного комплекса, адаптированного к параметрам работы пассажирского маршрутного транспорта, работающего на природном газе. Для оценки этой адаптированности предложен коэффициент удовлетворенности доступностью объектов обслуживания, который позволяет организационные мероприятия разбить по категориям, определяющим необходимость разработки либо внутримаршрутного графика обслуживания, либо приближения заправочного пункта. Представлены результаты исследования в условиях г. Оренбурга, для которого разработана оптимальная структура заправочной сети. Это, в свою очередь, даст дальнейший стимул для принятия региональной программы развития транспорта и сельскохозяйственной техники работающих на КПГ.

Список литературы / References

- Бондаренко Е.В. К вопросу о необходимости развития сети метановых заправок в г. Оренбурге / Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппов, М.Р. Фазуллин и др. // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - №4. – С. 15-23.
- Бондаренко Е.В. К вопросу о разработке и реализации программы «Расширение парка техники, работающей на природном газе и региональной заправочной сети до 2015 года и на перспективу до 2020 года» / Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппов, Р.Т. Шайлин // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: материалы 3-ей международной научно-практической конференции. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – С. 41-45.
- Бондаренко Е.В. Коэффициент потребительской оценки результативности деятельности обслуживающих предприятий, как основа для разработки инновационных проектов / Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппов, Р.Т. Шайлин // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. - № 1. – С. 15-21.
- Бондаренко Е.В. Формирование сети заправочных станций компримированным природным газом / Е.В. Бондаренко, А.М. Федотов, Р.Т. Шайлин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. - №10. – С.23-29.
- Филиппов А.А. Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств путём подбора альтернативных видов топлива: дис. ...канд. техн. наук : 05.22.10 : защищена 21.01.2005 : утв. 13.05.2005 / Филиппов Андрей Александрович. – Оренбург, 2005. – 135 с.

Список литературы на английском языке / References in English

- Bondarenko E.V. K voprosu o neobhodimosti razvitiya seti metanovyh zapravok v g. Orenburge [To a question of need of development of network of metane gas stations in Orenburg] / E.V. Bondarenko, A.A. Filippov, M.R. Fazullin i dr. // Mir transporta i tehnologicheskikh mashin [World of transport and technological machines]. – 2012. - №4. – P. 15-23. [in Russian]
- Bondarenko E.V. K voprosu o razrabotke i realizacii programmy «Rasshirenie parka tehniki, rabotajushhej na prirodnom gaze i regional'noj zapravochnoj seti do 2015 goda i na perspektivu do 2020 goda» [To a question of development and implementation of the "Expansion of the Park of the Equipment Using Natural Gas and Regional Filling Network till 2015

and on Prospect till 2020" program] / E.V. Bondarenko, A.A. Filippov, R.T. Shajlin // Aktual'nye voprosy innovacionnogo razvitiya transportnogo kompleksa: materialy 3-ej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Topical issues of innovative development of a transport complex: materials of the 3rd international scientific and practical conference]. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2013. – P. 41-45. [in Russian]

3. Bondarenko E.V. Koefficient potrebitel'skoj ocenki rezul'tativnosti dejatel'nosti obsluzhivajushhih predprijatij, kak osnova dlja razrabotki innovacionnyh proektorov [Coefficient of consumer assessment of effectiveness of activity of the serving enterprises as basis for development of innovative projects] / E.V. Bondarenko, A.A. Filippov, R.T. Shajlin // Mir transporta i tehnologicheskikh mashin [World of transport and technological machines]. – 2014. – № 1. – P. 15-21. [in Russian]

4. Bondarenko E.V. Formirovanie seti zapravochnyh stancij komprimirovannym prirodnym gazom [Formation of network of fuel stations compressed natural gas] / E.V. Bondarenko, A.M. Fedotov, R.T. Shajlin // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg state university]. – 2014. – №10. – P.23-29. [in Russian]

5. Filippov A.A. Povyshenie effektivnosti jekspluatacii avtotsportnyh sredstv putjom podbora al'ternativnyh vidov topliva [Increase in efficiency of operation of vehicles by selection of alternative types of fuel] : dis. ...of PhD in Engineering : 05.22.10 : defense of the thesis 21.01.2005 : approved. 13.05.2005 / Filippov Andrej Aleksandrovich. – Orenburg, 2005. – 135 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.138

Брюхов А.П.¹, Козырин Н.С.²

^{1,2}Магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КАЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОЛЕСА СИСТЕМЫ «ПЯТОЕ КОЛЕСО»

Аннотация

В работе проведены основные элементы расчетов необходимые при разработке системы измерения фактической прямолинейной скорости движения автомобиля типа «Пятое колесо». Описана математическая модель качения измерительного колеса без проскальзывания по опорной поверхности в двух режимах движения (ускоренном и замедленном). Определена величина вертикальных перемещений измерительного колеса при кривизне и приседании кузова автомобиля относительно опорной поверхности. Определен ход перемещения системы подпрессоривания измерительного колеса.

Ключевые слова: измерение скорости, исследование тормозной эффективности, мобильная лаборатория, система типа «Пятое колесо», теория качения деформируемого колеса, качение измерительного колеса без проскальзывания, величина крена кузова автомобиля.

Bryukhov A.P.¹, Kozyrin N.S.²

^{1,2}Undergraduate student, Perm National Research Polytechnic University

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF ROLLING OF MEASURING WHEEL SYSTEM “FIFTH WHEEL”

Abstract

The work provides the main calculation elements required for the development of a system for the measurement of the actual straight-line speed of the automobile “Fifth wheel.” It describes the mathematical model of the measuring wheel rolling without slipping on the supporting surface in two modes of movement (acceleration and deceleration). The magnitude of the vertical displacement of a measuring wheel at graze burst and bottoming of the car body in relation to the bearing surface is determined. The course of movement of the system cushioning the measuring wheel is also determined.

Keywords: speed measurement, research braking effectiveness, mobility laboratories, the system of the "Fifth Wheel", theory of deformable rolling wheels, rolling measuring wheel without slipping, the value of the car body roll.

Оборудование для измерения фактической скорости движения автомобиля необходимо при проведении всевозможных испытаний и исследований автомобиля, таких как испытания на управляемость и устойчивость, исследование эффективности тормозной системы автомобиля, определение тягово-скоростных и других эксплуатационных характеристик автомобиля, а так же проверка соответствия требований безопасности техническому состоянию.

Система типа «Пятое колесо» зарекомендовало себя наиболее практической и надежной для испытания при прямолинейном нереверсивном движении по ровным опорным поверхностям с твердым покрытием. Системы является одной из элементов мобильной лаборатории для исследований эффективности торможения автомобиля. Существуют и другие системы измерения скорости движения, но наиболее простой с технологической и конструктивной точки зрения является именно эта система.

Также существует возможность применения для измерения параметров движения автомобиля с помощью измерительных систем с оптическими датчиками скорости или с GPS – приемником, но в первом случае велика вероятность сбоев при работе на некоторых видах покрытия, во втором случае не обеспечивается необходимая точность измерений [1, С.3].

С целью минимизации возникающих погрешностей при проскальзывании измерительного колеса необходимо составить модель его качения при ускоренном и замедленном движении испытуемого автомобиля. Науке известно множество теорий качений колеса. Потребность в теориях качения колеса с эластичной шиной обуславливается разнообразием инженерных задач о колебаниях и курсовой устойчивости автомобиля, и сложность процессов протекающих в пятне контакта шины с опорной поверхностью и в самойшине.

Задачи решающие курсовую устойчивость основаны на гипотезе, что при наличии, действующей на колесо поперечной горизонтальной реакции возникает боковой увод шины. Данная теория не применима при описании качения измерительного колеса, так как в общем случае на колесо не действует поперечных реакций, а изменение курса движения происходит лишь при маневрировании на полигоне, испытания по исследованию тормозных свойств, происходят при прямолинейном движении.

Более полная модель качения колеса рассмотрена М. В. Келдышем. В теории М. В. Келдыша рассмотрена сложная деформация шины, при качении без проскальзывания по плоской опорной поверхности при наличии постоянной нагрузки. Так же рассматриваются обобщения и уточнения для построения модели качения колеса с эластичной шиной по неровной поверхности при быстро меняющихся нагрузках. Данная теория весьма сложна и не подходит в полной мере для применения в описании качения измерительного колеса, более подробное ознакомление с данной теорией вынесено на рассмотрение в магистерской диссертации [2, С.6].

Так же имеет место быть упругим моделям качения шин, позволяющие оценить характер и закономерность деформации шины, установить зависимость между реакцией со стороны опорной поверхности и деформациями шины. Поскольку в качестве измерительного колеса применяется велосипедное колесо и шоссейная шина, обладающая минимальной деформацией для минимизации сопротивления качению, данная теория не применима в полной мере в силу малых деформаций шины [3, С.120].

В модели качения измерительного колеса рассмотрено качение измерительного колеса по плоской поверхности при постоянной вертикальной нагрузке при двух режимах качения колеса, ускоренном и замедленном движении автомобиля. Перед моделью стоит задача в определении необходимой прижимной силы для движения измерительного колеса без проскальзывания [4, С.30].

На измерительное колесо действует прижимная сила P_z в вертикальном направлении перпендикулярно опорной поверхности, нормальная нагрузки колеса. В продольном направлении действует тяговая сила P_x . Нормальная реакция опорной поверхности R_z направлена вверх перпендикулярно плоскости дороги, точка приложения смешена на величину $a_{\text{ш}}$ относительно центра в основании колеса. Продольная реакция R_x расположена в плоскости дороги и направлена ускорению движения. Так же ускоренное или замедленное вращения колеса сопровождается моментом инерции J_k . Качение колеса вызывает силу сопротивлению качению P_f и момент сопротивлению качения M_f направленный против движения. Исходные данные для расчета представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Буквенное обозначение	Значение
Коэффициент сцепления для асфальтобетонного покрытия	φ_x	0,8
Коэффициент сопротивления качению для асфальтобетонного покрытия	f	0,014
Продольное ускорение автомобиля при торможении, м/с^2	j_m	7
Продольное ускорение автомобиля при разгоне, м/с^2	j_v	5
Момент инерции измерительного колеса, кгм^2	J_k	0,17
Динамический радиус измерительного колеса, мм	r_o	0,33

Составляется схема сил действующих на измерительное колесо при замедленном и ускоренном движении автомобиля (рис. 1 и рис. 2 соответственно).

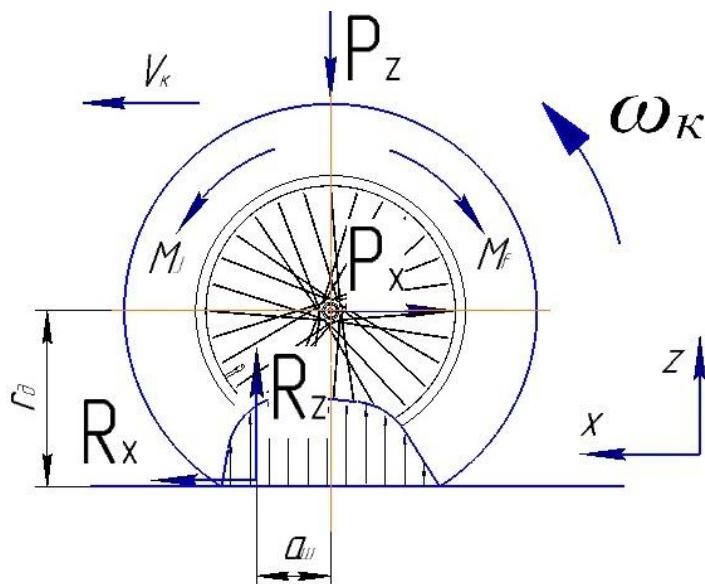


Рис. 1 – Расчетная схема при замедленном движении

Система уравнений для замедленного движения автомобиля имеет вид:

$$\sum F_x: m_{\kappa} j_{\kappa} = R_x - P_x \quad (1)$$

$$\sum F_z: P_z = R_z \quad (2)$$

$$-J_{\kappa} \frac{d\omega_{\kappa}}{dt} = -R_x \cdot r_o - R_z \cdot a_{uu} \quad (3)$$

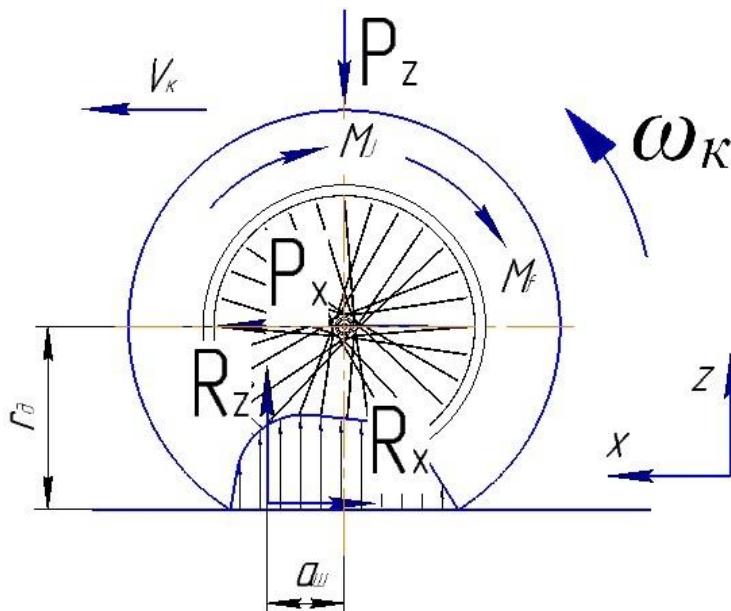


Рис. 2 – Расчетная схема при ускоренном движении колеса

Система уравнений для данной расчетной схемы имеет вид, при отсутствии вертикальных ускорений:

$$\sum F_x: m_{\kappa} j_{\kappa} = -R_x + P_x \quad (4)$$

$$\sum F_z: P_z = R_z \quad (5)$$

$$J_{\kappa} \frac{d\omega_{\kappa}}{dt} = R_x \cdot r_o - R_z \cdot a_{uu} \quad (6)$$

При движении колеса возникают потери энергии на трение шины и опорной поверхности, а так же деформацию шины. В результате этих потерь возникает сила сопротивления качению P_f . Условная количественная характеристика определяет отношение силы сопротивления качения P_f к нормальной реакции R_z опорной поверхности, называется коэффициентом сопротивлению качению, значение которого является табличным в зависимости от типа покрытия. Сила сопротивления качения образует момент сопротивлению качения M_f на плече r_d .

$$f = \frac{P_f}{R_z} \quad (7)$$

$$M_f = P_f \cdot r_d \quad (8)$$

Сила сцепления представляет собой максимальное значение горизонтальной реакции и пропорциональна вертикальной нагрузке на колесо и зависит от коэффициента сцепления. Коэффициент сцепления, существует продольный и поперечный, в данном случае рассматривается продольный, зависит в свою очередь от конструктивных параметров шины и типа дорожного покрытия.

$$P_{cu} = \varphi_x \cdot R_z \quad (9)$$

$$M_{cu} = P_{cu} \cdot r_d \quad (10)$$

Для первого случая (замедление) уравнение моментов имеет вид:

$$M_{cu} = M_f - J_\kappa \frac{d\omega_\kappa}{dt} \quad (11)$$

Для второго случая (ускорение) уравнение моментов имеет вид:

$$M_{cu} = J_\kappa \frac{d\omega_\kappa}{dt} + M_f \quad (12)$$

В случае качения замедления проскальзывание колес возникает при таком моменте сопротивления качению, который больше суммы момента сцепления и момента инерции

Как видно из уравнения (12) проскальзывание колеса при его ускоренном качении, возникает, когда момент инерции и момент сопротивлению качению превышает момент создаваемый силой сцепления шины с дорогой.

В качестве измерительного колеса выступает колесо шоссейного велосипеда, которое обладает малым моментом инерции, а покрышка обладает достаточной жесткостью, при которой момент сопротивления качению не велик. Из чего можно сделать вывод, что при наличии достаточной вертикальной нагрузки, проскальзывания измерительного колеса возникать не будут.

Нормальная реакция опорной поверхности численно равна вертикальной нагрузке на измерительное колесо. Минимальная необходимая величина прижимного усилия составляет 12 Ньютонов (в режиме замедленного движения). Определив необходимую прижимную силу дальнейшим этапом работы, является исследование влияния продольного крена кузова при движении автомобиля на работу измерительного колеса.

Приведенные расчеты представляют собой предпосылку для дальнейшего расчета системы подпрессоривания и разработки элементов конструкции измерительной системы типа «Пятое колесо», применяемого для проведения испытаний автомобильного транспорта.

Список литературы / References

1. Кристальный С. Р. Принцип создания шинного тестера на базе серийного легкового автомобиля / С. Р. Кристальный, В. Н. Задворнов, Н. В. Попов, В. А. Фомичев. // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 5 (82). – С.38-45.
2. Келдыш М. В. Шимми переднего колеса трехколесного шасси / М. В. Келдыш. –М., Бюро новой техники НКАП, 1945, 34 с.
3. Хачатуров А. А. Динамика системы дорога – шина – водитель / А. А. Хачатуров. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
4. Литвинов А. С., Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. - 243 с.;

Список литературы на английском языке / References in English

1. Crystal S. R., Princip sozdaniya shinnogo testera na baze serijnogo legkovogo avtomobilja [Principle of establishing a bus tester on the basis of serial car] / S. R. Crystal, V. N. Zadvornov, N. V. Popov, V. A. Fomichev // Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov [Journal of automotive engineers]. - 2013. - № 5 (82). - P.38-45. [in Russian]
2. Keldysh M. V. Shimmi perednego kolesa trehkolesnogo shassi [Shimmy front wheel tricycle undercarriage]/ M. V. Keldysh. -M., Bjuro novoj tehniki NKAP, 1945, 34 P. [in Russian]
3. Khachaturov A. A. Dinamika sistemy doroga – shina – voditel' [Dynamics of system road - tyre - car - driver]/ A. A. Khachaturov. - M : Mashinostroenie , 1976. - 535 P. [in Russian]
4. Litvinov A. S., Avtomobil'. Teoriya jekspluatacionnyh svojstv [Car. Theory of operating properties]/ A. S. Litvinov, J. E. Farobin. - M.: Mashinostroenie , 1989. - 243 P. [in Russian]



DOAJ

Все материалы, опубликованные в Международном научно-исследовательском журнале, размещаются в депозитарии научных изданий Университета Лунда.

DOAJ (Лунд, Швеция) [<http://www.doaj.org/>].

Таким образом, публикации наших авторов доступны еще большему кругу исследователей, что поднимает их статус и увеличивает возможность цитирования.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.137

Брюхов А.П.¹, Козырин Н.С.²

^{1,2}Магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет
ПОСТРОЕНИЕ ТОРМОЗНОЙ ДИАГРАММЫ ПОСРЕДСТВОМ МОБИЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Аннотация

В статье предложен метод построения идеализированной и реальной тормозных диаграмм. Данный метод основан на регистрации определенных параметров процесса торможения автомобиля, при помощи мобильной лаборатории для исследования параметров торможения автомобиля. В работе рассмотрены особенности процесса торможения автомобиля. Определены параметры процесса торможения автомобиля, регистрация которых необходима для построения тормозной диаграммы. Разработанный метод может быть использован в научно-исследовательских и образовательных целях, в качестве учебного пособия для студентов, применяется для контроля технического состояния автомобилей и в областях работы авто-экспертизы.

Ключевые слова: тормозная диаграмма, процесс торможения, мобильная лаборатория, торможение.

Bryukhov A.P.¹, Kozyrin N.S.²^{1,2}Undergraduate student, Perm National Research Polytechnic University**BRAKE CONSTRUCTION CHART THROUGH MOBILE LABORATORY****Abstract**

This paper proposes a method for constructing an idealized and real brake diagrams. This method is based on the registration of certain parameters of the car braking process with the help of a mobile laboratory for the study of car braking parameters. The paper discusses the features of the car braking process. The parameters of the process of braking the vehicle, the registration of which is required for the construction of the brake diagrams. The developed method can be used for research and educational purposes, as a teaching tool for students, used to control the technical condition of vehicles and work areas of auto-examination.

Keywords: brake diagram braking process, the mobile laboratory braking.

Скорость и безопасность движения автомобиля в значительной степени определяются его тормозными свойствами. Под тормозными свойствами понимают способность автомобиля быстро снижать скорость движения вплоть до полной остановки при минимальном тормозном пути, сохранять заданную скорость при движении под уклон, а также оставаться неподвижным при действии случайных сил.

Процесс торможения автомобиля может быть описан при помощи тормозной диаграммы. Для ее построения необходимо регистрировать определенные параметры процесса торможения автомобиля.

Целью данной работы является разработка метода построения тормозной диаграммы посредством мобильной лаборатории, позволяющей регистрировать параметры процесса торможения автомобиля.

Для разработки метода построения тормозной диаграммы, были выделены основные задачи:

1. Подробное рассмотрение протекания процесса торможения автомобиля, что главным образом включает в себя математическое описание зависимостей данного процесса;
2. Сравнение графиков реальной и идеализированной тормозной диаграммы;
3. Определение регистрируемых параметров, необходимых для построения диаграммы.
4. Описание методики построения диаграммы.

Схема сил, действующих на автомобиль, изображена на рис. 1. На схеме показан наиболее общий случай, когда автомобиль движется по абсолютно ровной горизонтальной поверхности. На рисунке также выделены параметры, регистрация которых необходима для полноценного исследования процесса торможения автомобиля. К таким параметрам относятся: угловая скорость вращения колеса и замедление автомобиля. Наибольший интерес представляет измерение угловой скорости каждого колеса в отдельности, для дальнейшего сопоставления полученных величин, с целью оценки тормозных свойств автомобиля в целом.

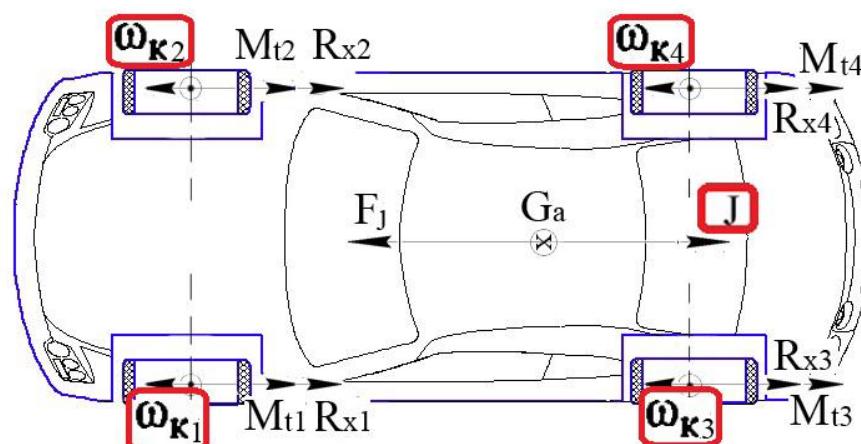


Рис. 1 – Схема сил действующих на автомобиль в процессе торможения:

M_{f1} , M_{f2} – моменты сопротивления качению колес автомобиля; F_b – сила сопротивления воздуха;

F_i – продольная составляющая силы тяжести автомобиля; F_{jx} – сила сопротивления поступательному ускорению масс автомобиля; R_{z1} , R_{z2} – нормальные реакции дороги; G_a – сила тяжести; R_{x1} , R_{x2} – продольные реакции дороги

Процесс торможения автомобиля достаточно сложный. Он состоит из нескольких последовательных этапов, первым из которых является момент нажатия на тормозную педаль (начало торможения). После начала торможения определенный промежуток времени затрачивается на срабатывание тормозной системы и называется временем запаздывания срабатывания тормозной системы. После достижения максимального усилия воздействия на тормозную педаль, наступает состояние установившегося замедления. Время t_p от начала отпуска тормозной педали до возникновения зазоров между фрикционными элементами называют временем растормаживания. Данный процесс может быть представлен в виде тормозной диаграммы [1, С.164]. На Рис. 2 представлена идеализированная диаграмма процесса торможения автомобиля, которая во многом отличается от реальной тормозной диаграммы (рис. 3), снятой при помощи деселерометра.

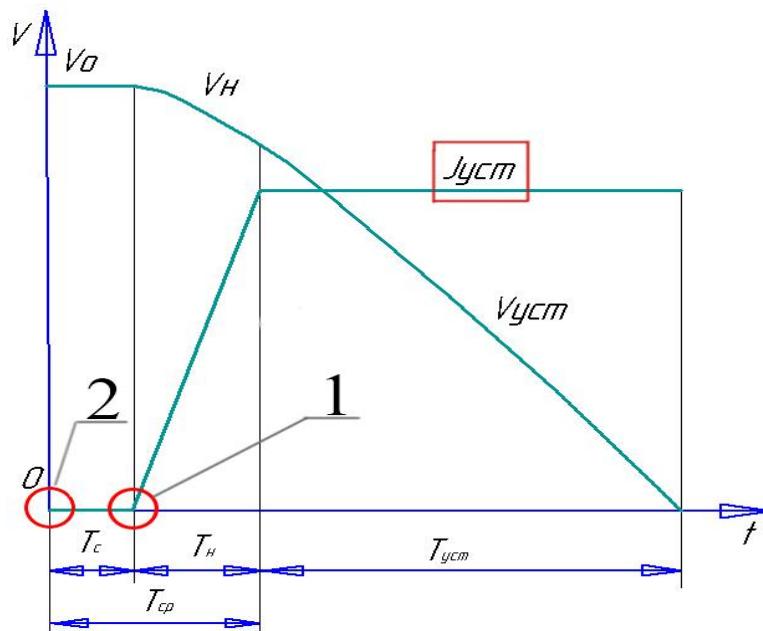


Рис. 2 – Идеализированная тормозная диаграмма

τ_c – время срабатывания тормозов (подвод колодок 0,1...0,4 с); $\tau_h = 0,2 \dots 0,4$ – время нарастания давления в тормозной системе

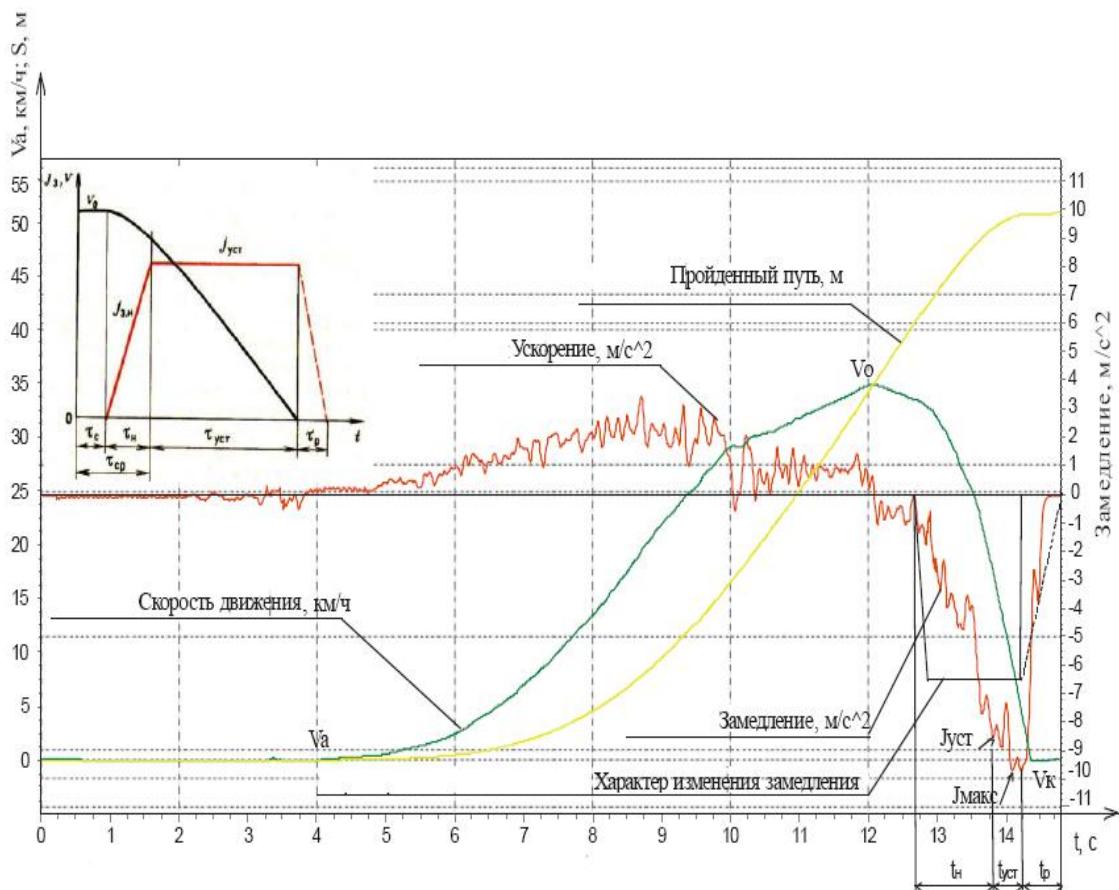


Рис. 3 – Реальная тормозная диаграмма

Основным отличием двух графиков является интервал, называемый установленившимся замедлением. После достижения максимального усилия воздействия на тормозную педаль, сложную кривую функции $j = j(\tau)$ реальной тормозной диаграммы, аппроксимируя, для упрощения, преобразуют в прямую. Другими словами, переменное значение i_3 , условно заменяют средним (рис. 2) и считают установленившимся, взяв за начало отсчета ($t=0$) момент прекращения увеличений усилия на педали [2, С.75]. График реальной тормозной диаграммы, полученный при проведении испытаний (Рисунок 3), является не расшифрованным. В частности, не ясно, по какому принципу был построен график характера изменения замедления, основанный на показаниях реальной тормозной диаграммы.

На эффективность торможения, кроме действий водителя, влияют конструкция и техническое состояние автомобиля, тип и состояние дорожного покрытия, а также внешние факторы. Исследования показывают, что действие всех этих факторов наиболее полно учитывается параметрами торможения, из числа которых выбирают критерии оценки тормозной эффективности:

1. Тормозной путь;
2. Установившееся замедление;
3. Время торможения.

Установившееся замедление и тормозной путь являются основными критериями оценки эффективности тормозных систем. Для определения величин этих параметров используют либо непосредственное измерение, либо перерасчет, основанный на преобразовании величин и опирающийся на снятую при испытаниях тормозную диаграмму. Расчетный способ является достаточно перспективным, так как полученная тормозная диаграмма позволяет определить любой параметр торможения.

Торможение представляет собой процесс, во многом зависящий от состояния опорной поверхности, которое, в свою очередь, определяется коэффициентом сцепления колес с дорожным покрытием. Шина является единственным связующим элементом между автомобилем и дорожным покрытием. Шина обеспечивает не только сцепление колеса с дорогой, но и передачу тяговых и тормозных усилий, амортизацию сил, возникающих при наезде на неровности и дефекты дороги, управляемость и безопасное движение автомобиля, динамичность и плавность хода при маневрировании, в различных профилях и т.д.

Посредством мобильной лаборатории, путь, пройденный автомобилем, измеряется не непосредственно, а путем пересчета по известному числу оборотов «пятого» колеса и его радиусу качения. Зная частоту импульсов получаемых с датчика, определяется число оборотов вращения колеса за единицу времени. Оно совпадает с угловой скоростью вращения колеса. Затем, зная угловую скорость и радиус качения, определяется линейная скорость движения колеса, которая в свою очередь совпадает с линейной скоростью движения автомобиля.

Для правильности построения диаграммы, необходимо учитывать точки 1 и 2 (рис. 4). Точка 1 – регистрируется для определения начала тормозного пути, и может быть зарегистрирована с помощью штатного датчика включения стоп-сигнала. Точка 2 – «начало нарастания давления в тормозном приводе» (рис. 4), необходима для определения момента срабатывания тормозного привода. Без него не обойтись при регистрации и оценки тормозного пути. Наиболее оптимальной является регистрация момента срабатывания привода по нарастанию давления в системе. Для этого в мобильном комплексе будет использован датчик давления. Прямая «установившееся замедление», может быть получена при помощи акселерометра. Такой способ регистрации позволит получить достаточно ровную и пологую линию замедления. В дальнейшем эта линия будет сопоставляться с кривой замедления, полученной по первому методу построения диаграммы. Затем путем математической обработки определяется усредненное значение замедления, наиболее точно характеризующее реальный процесс торможения.

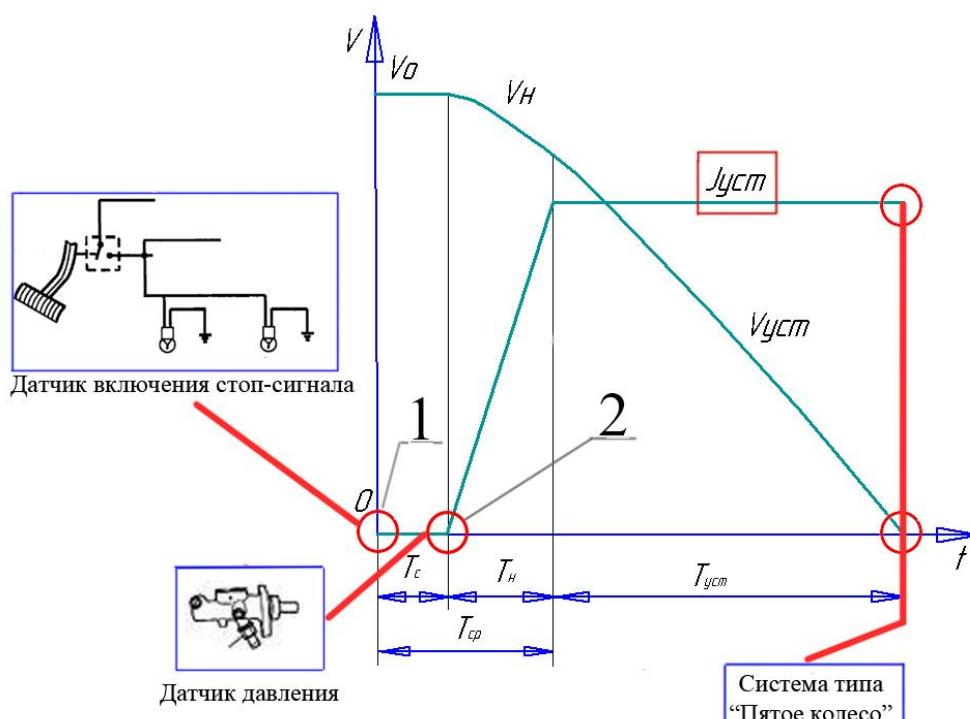


Рис. 4 – Построение тормозной диаграммы

По результатам проведенных исследований составлен алгоритм построения тормозной диаграммы. А также определены параметры процесса торможения автомобиля, регистрация которых необходима для построения тормозной диаграммы. Разработанный метод может быть использован в научно-исследовательских и образовательных целях, в качестве учебного пособия для студентов, применяться для контроля технического состояния автомобилей и в областях работы авто-экспертизы. В дальнейшем на базе имеющегося мобильного комплекса планируется разработка мобильной лаборатории для исследования параметров движения автомобиля.

Список литературы / References

1. Литвинов А. С., Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. - 243 с.
2. Брылев И. С. Реконструкция ДТП по параметрам процесса торможения двухколесных механических транспортных средств, диссертация канд. тех. наук: 05.22.10/ Брылев Илья Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2015. – 159 с.
3. Тарасик В. П., Теория движения автомобиля, учебник для ВУЗов / В. П. Тарасик, СПБ БХВ-Петербург, 2006 - 478 с.
4. Афанасьев Б. А., Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для ВУЗов / Б. А. Афанасьев, Б. Н. Белоусов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008, - 432 с.: ил.
5. Осепчугов В. В., Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: Учебник для студентов ВУЗов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В. В. Осепчугов, А. К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989 – 304 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Litvinov A. S., Avtomobil'. Teoriya jeksploatacionnyh svojstv [Car. Theory of operating properties]/ A. S. Litvinov, J. E. Farobin. - M.: Mashinostroenie , 1989. - 243 P. [in Russian]
2. Brylev J. S., Rekonstrukcija DTP po parametram processa tormozhenija dvuhkolesnyh mehanicheskikh transportnyh sredstv [Reconstruction of road accidents in the parameters of the braking process of two-wheeled motor vehicles], dis. PhD in Engineering : 05.22.10 / Brylev Ilya. - St. Petersburg, 2015. - 159 P. [in Russian]
3. Tarasik V. P., Teorija dvizhenija avtomobilja, uchebnik dlja VUZov [driving theory, the textbook for high schools] / V. P. Tarasik, SPB BHV - Petersburg, 2006 - 478 P. [in Russian]
4. Afanasiev B. A., Proektirovanie polnoprivodnyh kolesnyh mashin: Uchebnik dlja VUZov [Related all-wheel drive wheeled vehicles: Textbook for High Schools] / B. A. Afanasiev, B. N. Belousov. - M .: MSTU. Bauman, 2008 - 432 P. [in Russian]
5. Osepchugov V. V., Avtomobil': Analiz konstrukcij, jelementy rascheta: Uchebnik dlja studentov VUZov po special'nosti «Avtomobili i avtomobil'noe hozjajstvo» [Car: construction analysis, the calculation of the elements: A textbook for university students in the specialty "Cars and automobile economy"] / V. V. Osepchugov, A. K. Frumkin - M .: Mashinostroenie, 1989 - 304 P. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.063

Бугаев А.М.¹, Игнаткин И.Ю.²

¹Кандидат технических наук, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,

²Кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана

ФАБО КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДВС

Аннотация

В статье дан обзор состояния вопроса повышения ресурса двигателей внутреннего сгорания в современном машиностроении. Рассмотрены как наиболее целесообразные направления, так и перспективные конструкторские, технологические и эксплуатационные методы, позволяющие повысить ресурс ДВС. Представлены наиболее удовлетворяющие описанным условиям методы ФАБО. На основе рассмотренных данных сделан вывод о перспективности использования ФАБО как наиболее доступного для промышленной реализации технологического метода повышения ресурса двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: поверхность, покрытия, двигатели, ресурс, смазка, износостойкость, трение.

Bugaev A.M.¹, Ignatkin I.U.²

¹PhD in Engineering, RSAU – MAA named after K.A. Timiryazev, Moscow

²PhD in Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

FABO AS TECHNOLOGICAL METHOD of RESOURCE BOOST IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Abstract

The article provides an overview of an issue related to the increase of the resource of internal combustion engines in modern engineering. It considers both the most appropriate directions and forward-looking design, technological and operational methods aimed at the increase of the engine resource. It provides the most satisfying FABO methods that correspond to the described conditions. Considered data allowed us to make a conclusion concerning the potential of FABO methods as the most affordable technique for the industrial implementation of the process method in order to increase the resources of the internal combustion engine.

Keywords: surface coating, engines, resource, lubrication, wear resistance, friction.

Тема повышения ресурса машин и механизмов в последнее время неумолимо приобретает все более выраженную актуальность. Практически во всех технически и экономически развитых странах на исследования, направленные на создание способов и технологий восстановления деталей машин, подвергшихся

износу, повышение надежности подвижных соединений, снижение интенсивности различных видов изнашивания деталей машин и механизмов, ежегодно тратятся значительные средства.

Указанная ситуация сложилась не только в свете постоянного ужесточения эксплуатационных режимов машин, но и в связи с частым отсутствием обоснованных и подтвержденных объективными критериями методик выбора материалов (как конструкционных, так и смазочных), защитных покрытий и способов обработки для конкретных деталей трибосоединений, работающих в определенных условиях, что особенно странно в свете того, что, как известно, путем повышения качества исполнения взаимодействующих поверхностей деталей пар трения и подбора рациональных материалов и эксплуатационных режимов машин, можно значительно повысить их ресурс.

Ресурс двигателя в целом зависит от износостойкости и работоспособности отдельных составляющих элементов. Для решения задачи увеличения ресурса двигателей необходимо найти способы увеличения ресурса их соединений.

За последние годы машиностроительные заводы проделали большую работу по повышению ресурса и качества изготовления двигателей. Однако в целом их межремонтный ресурс составляет 50...60 % от нормативного [1, С. 12].

Низкий ресурс двигателей приводит к издержкам отостоя тракторов и машин. Ряд авторов объясняют это недостатками технологий изготовления и ремонта, применением некачественных материалов [2, С. 19].

На современной технике различного назначения наиболее часто применяют четырехтактные дизели различных конструкций. Бензиновые двигатели в качестве силовых установок распространены гораздо реже.

Основные трибосопряжения, являющиеся определяющими для ресурсных показателей двигателя, работают в условиях трения скольжения. Ресурсоопределяющими для двигателей считаются сопряжения «гильза цилиндра - поршневое кольцо» и «коленчатый вал – вкладыш», что заставляет производителей обеспечивать ресурс указанных деталей на уровне 70% ресурса ДВС [3, С. 47].

Назначением поршневых колец является уплотнение камеры сгорания и удаление излишков смазочного материала с зеркала гильзы. При больших значениях износов в паре трения «гильза цилиндра - поршневое кольцо» повышается расход масла.

Несмотря на плотное прижатие поршневых колец к стенкам гильзы цилиндра вследствие действия сил упругости и давления газов в процессе работы двигателя, между кольцом и гильзой сохраняется масляная пленка толщиной около 10 мкм, препятствующая сухому трению указанных деталей.

Материалами для изготовления гильз цилиндров ДВС как правило служат специальный или серый чугуны. В целях повышения износостойкости поверхностей трения гильз цилиндров и поршневых колец, их термообрабатывают и покрывают износостойкими покрытиями. Так, например, нанесение хрома на поверхность зеркала цилиндра может в несколько раз повысить его износостойкость. Тем не менее, на практике хромированию, как правило, подвергают только поршневые кольца. Связано это в первую очередь с низкими триботехническими характеристиками пары трения «хром – хром». Основными же материалами для изготовления поршневых колец являются серый чугун и низкоуглеродистые стали, на боковую поверхность которых наносят износостойкие и приработочные покрытия. Маслосъемные, а также нижние компрессионные кольца могут изготавливать из легированных или углеродистых сталей.

Повышение ресурса двигателей возможно путём реализации конструкторских, технологических и эксплуатационных мероприятий

К эксплуатационным мероприятиям относят использование смазочных масел с присадками в начальный период эксплуатации, а также выбор режимов работы двигателя.

К конструкторским мероприятиям можно отнести: выбор материалов пар трения; создание условий для реализации гидродинамического режима смазки; применение геометрической формы деталей, обеспечивающей требуемую механику контакта; поддержание оптимальных температурных режимов в узлах трения и т.д. В настоящее время в данном направлении выполнен ряд важных исследований, приведших к практическим результатам. Так, например, установлено, что при нормальных условиях работы двигателя большинство поршневых колец образуют бочкообразный профиль, обеспечивающий условия гидродинамической смазки. Испытания колец с искусственно закруглённой образующей показали, что их износ до 10 раз меньше износа обычных колец [4, С. 38].

Повышения маслодержащей способности и сопротивляемости задиру гильз цилиндров возможно добиться нанесением маслодержащего рельефа в виде лунок или канавок вибронакаткой, плосковершинным хонингованием, что обеспечивает увеличение ресурса гильз до 30%. Широкое распространение для предупреждения задиров получили покрытия колец, наносимые химическим и электрохимическим способами: лужение, кадмирование, меднение, фосфорирование, сульфидирование, железнение, пористое хромирование и т.д. Положительным свойством сульфидных покрытий является их способность при трении и износе выделять серу, которая содействует скольжению и предотвращает задиры в условиях граничного трения. Получили распространение молибденовые покрытия на поршневых кольцах, показавшие хорошие противозадиры и износостойкие качества [4, С. 73].

К технологическим мероприятиям относят как повышение точности изготовления и сборки деталей трибосопряжений, так и применение более совершенных способов обработки поверхностей трения. Во втором случае для повышения ресурса гильз цилиндров применяют специальные методы хонингования: плосковершинное, антифрикционно-деформационное, безабразивное. При помощи антифрикционно-деформационного хонингования на поверхности трения получают прочное антифрикционное покрытие из дисульфида молибдена, графита, меди, олова [5, С. 6]. Подобные методы получили название «Финишная антифрикционная безабразивная обработка» – ФАБО.

Процесс ФАБО заключается в покрытии поверхности трения деталей тонким (до 7 мкм) слоем твердосмазочного материала, придающего им антифрикционные и противоизносные свойства и повышающего контактную жесткость. Поверхности деталей при фрикционно-механическом способе ФАБО обрабатывают как правило инструментом из твердосмазочных материалов с использованием технологических сред, содержащих ПАВ. Структура покрытия, полученного подобным образом, пористая, что способствует удержанию смазочного материала на контактирующих поверхностях.

При ФАБО фрикционно-химическим способом защитная т.н. «сервовитная» пленка образуется в результате физико-химических процессов, происходящих между рабочей средой и обрабатываемой поверхностью при механической активации последней инструментом, причем в качестве инструментальных могут быть использованы и неметаллические материалы. Необходимые для осуществления процесса удельные нагрузки при применении указанного метода значительно меньше, и не превышают 1,0 МПа, а скорость обработки значительно повышается. Данный метод делает возможным получение покрытий с заданной толщиной на различных по форме и размерам деталях.

ФАБО дает возможность повысить износостойкость зеркала гильзы до 2 раз, сократить время приработки, устранить задиры, увеличить ресурс двигателя. Процесс ФАБО не только придает элементам пар трения антифрикционные свойства, но и защищает обработанные поверхности от проникновения водорода, уменьшая водородное изнашивание.

Методы ФАБО не только эффективны для повышения износостойкости поверхностей деталей, но и не требуют применения дополнительного оборудования, то есть практически не увеличивают трудоемкость и себестоимость изготовления и ремонта двигателей, что облегчает их внедрение в производство.

Список литературы / References

1. Пучин Е.А. Надежность технических систем: учебное пособие для инженерных специальностей вузов / Е.А. Пучин, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев и др. – Орел, Изд-во ОрелГАУ, 2012. – 96 с.
2. Соловьев, А.В. Повышение качества и экономичности обкатки отремонтированных двигателей ЗИЛ-130 с использованием приработочных технологических жидкостей.: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 : защищена 22.03.2001: утв. 27.09.2001 / Соловьев Андрей Валентинович. – М., 2001. – 244 с.
3. Пучин Е. А. Практикум по ремонту машин: учеб. пособие / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский и др. ; под общ. ред. Е. А. Пучина. – М. : КолосС, 2009. – 327 с.
4. Стрельцов В. В. Трибологические основы повышения ресурса машин: практикум / В. В. Стрельцов, А. М. Колокатов, И. Л. Приходько, и др. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. – 168 с.
5. Карпенков В. Ф. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) деталей / В. Ф. Карпенков, В. В. Стрельцов, И. Л. Приходько и др. – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1996. – 108 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Puchin E.A. Nadezhnost' tehnicheskikh sistem : ucheb. posobie dlja inzh. special'nostej vuzov [Reliability of technical systems: a manual for engineering specialties universities] / E.A. Puchin, A.V. Kolomejchenko, V.N. Logachev and others – Orel, Izd-vo OrelGAU, 2012. – 96 p. [in Russian]
2. Solov'ev, A.V. Povyshenie kachestva i jekonomichnosti obkatki otremontirovannyh dvigatelej ZIL-130 s ispol'zovaniem prirabotochnyh tehnologicheskikh zhidkostej.: dis. ... kand. tehn. nauk [Improving the quality and efficiency of the running overhauled engines ZIL-130 with the running process liquids].: dis. ... of PhD in Engineering: 05.20.03 : defense of the thesis 22.03.2001: approved 27.09.2001 / Solov'ev Andrej Valentinovich. – M., 2001. – 244 p. [in Russian]
3. Puchin E. A. Praktikum po remontu mashin: ucheb. posobie [Workshop on reconditioning: Proc. benefit] / E.A. Puchin, V.S. Novikov, N.A. Ochkovskij and others; edited by E. A. Puchina. – M.: KolosS, 2009. – 327 p. [in Russian]
4. Strel'cov V. V. Tribologicheskie osnovy povyshenija resursa mashin: praktikum [Tribological basis for improving resource machines: Workshop] / V. V. Strel'cov, A. M. Kolokatov, I. L. Prihod'ko, and others – M. : FGOU VPO MGAU, 2010. – 168 p. [in Russian]
5. Karpenkov V. F. Finishnaja antifrikcionnaja bezabrazivnaja obrabotka (FABO) detalej [Finish anti-friction non-abrasive treatment (FABO) details] / V. F. Karpenkov, V. V. Strel'cov, I. L. Prihod'ko and others – Pushhino: ONTI PNC RAN, 1996. – 108 p. [in Russian]



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.

ПРИМЕР DOI:

10.18454/IRJ.2015.0001

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

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.084

Вержбовский Г.Б.¹, Беловодова А.В.²

¹ORCID: 0000-0002-8412-2675, Доктор технических наук,

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета,

²Инженер, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКИХ ФЛАНЦЕВ В МОНТАЖНЫХ УЗЛАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ЗАМКНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Аннотация

Рассмотрена возможность применения гибких фланцев в монтажных узлах несущих строительных конструкций с элементами из стальных замкнутых профилей. Приведена методика расчета узла, базирующаяся на предложении международной ассоциации CIDECT. Произведен расчет фланцевого соединения обрушившейся стропильной фермы покрытия автосалона. Введено понятие параметра гибкости фланца и получены его предельные значения. Отмечена необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на определение допустимого уровня пластических деформаций гибких фланцев.

Ключевые слова: фланец, монтажный узел, высокопрочный болт.

Verzhbovskiy G.B.¹, Belovodova A.V.²

¹ORCID: 0000-0002-1825-0097, PhD in Engineering,

Building and Architecture Academy of the Don State Technical University,

²Engineer, Building and Architecture Academy of the Don State Technical University

ASSESSMENT FLEXIBLE FLANGE'S APPLICATION POSSIBILITY IN ASSEMBLY NODES OF STRUCTURES WITH CLOSED PROFILE ELEMENTS

Abstract

The possibility of using the flexible mounting flanges nodes bearing structures with elements of steel closed profiles is considered. The methodology of calculation of the node, based on the proposals of the International Association CIDECT is provided. The calculation of the crashed car dealership cover truss flange connection is described. The concepts of flange flexibility setting and put the limit values are obtained. The need for further research aimed at determining the acceptable level of flexible flanges plastic deformation is marked.

Keywords: flange, assembly unit, high-strength bolt.

Здания и сооружения со стальными несущими конструкциями из замкнутых профилей стали весьма популярными в России. Зачастую их возводят по типовым зарубежным проектам, которые адаптируют под отечественные строительные нормы. Такой подход иногда приводит к неоправданному перерасходу материалов, а в некоторых случаях, к большому сожалению,— даже к аварийным ситуациям.

Причины указанных проблем кроются в существенных отличиях расчетных методик разных стран, использовании сталей различной прочности, отсутствию достаточного опыта применения подобных конструкций и т.п. Еще одной немаловажной причиной является актуализация нормативных документов, увидевших свет более сорока лет тому назад, без серьезной их переработки с учетом современных достижений.

Отечественные проектировщики по сей день используют Рекомендации 1989 года по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций [1]. В них указано, что при конструировании подобных соединений следует использовать жесткие фланцы толщиной не менее 20мм, выполненные из высокопрочной стали, а также высокопрочные болты. Отступление от перечисленных требований считается недопустимым.

В ноябре 2013 года в Ростовской области произошло обрушение стальных несущих конструкций каркаса строящегося здания автосалона (рис. 1). Экспертизой установлено, что причиной этого стал ряд ошибок, одной из которых явилось применение во фланцевых монтажных узлах растянутых поясов стропильных ферм с элементами из замкнутых профилей листов толщиной 10мм, выполненных из стали С255 [2], и болтов M20 класса прочности 5.8.

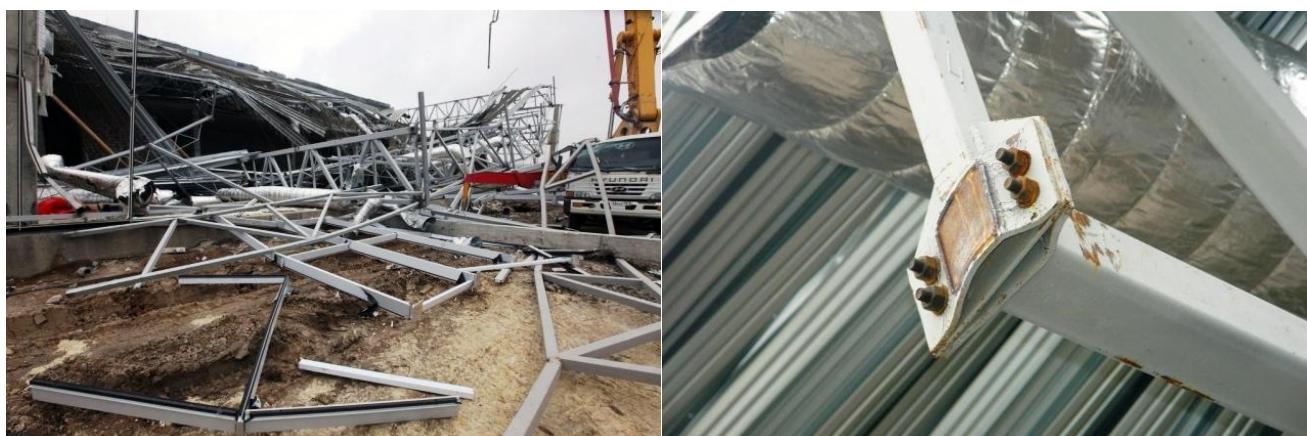


Рис. 1 – Обрушение каркаса автосалона

Очевидно, что в данном случае имеет место серьезное отступление от рекомендаций отечественных строительных норм и правил. Означает ли это, что гибкие фланцы с толщиной менее 20мм нельзя применять в подобных ситуациях вообще? Рассмотрим основные положения по расчету аналогичного узла, принятые за рубежом и предлагаемые CIDECT [3]. Приведенная аббревиатура является кратким названием международной ассоциации ведущих производителей полых профилей и труб, целью которой является расширение знаний в данной области путем проведения исследований стальных полых профилей и их применения в строительстве и машиностроении.

Согласно [3] порядок расчета фланцевого соединения, показанного на рисунке 2, заключается в следующем:

1. Назначаются количество n , тип и требуемый диаметр болтов, необходимые для восприятия действующего растягивающего усилия N и обеспечения некоторого коэффициента запаса. Определяются необходимые размеры фланца. Шаг болтов p рекомендуется принимать равным четырем-пяти диаметрам болта, хотя возможны и меньшие расстояния. Величина a обычно назначается не более $1,25b$. Установлено, что увеличение размера a не приводит к возрастанию несущей способности узла. Далее находят приведенный размер

$$b' = b - \frac{d}{2} + t, \quad (1)$$

а также параметр

$$\delta = 1 - \frac{d}{p}, \quad (2)$$

после чего принимают толщину фланца t_p из следующего неравенства

$$\sqrt{\frac{KP_f}{1+\delta}} \leq t_p \leq \sqrt{KP_f}. \quad (3)$$

В последнем выражении P_f – усилие, приходящееся на один болт, а

$$K = \frac{4000b'}{pR_y\gamma_c}, \quad (4)$$

причем коэффициент условий работы обычно принимается равным 0,9.

2. С учетом принятых болтов и толщины фланца вычисляют параметр гибкости фланца α

$$\alpha = \left(\frac{KT^*}{t_p^2} - 1 \right) \left[\frac{a+d/2}{\delta(a+b+t)} \right] \geq 0, \quad (5)$$

причем T^* – несущая способность болта.

3. Вычисляют несущую способность соединения

$$N^* = \frac{t_p^2(1+\delta\alpha)n}{K}, \quad (6)$$

а также фактическое усилие в болте

$$T_f = P_f \left(1 + \frac{b'}{a'} \frac{\delta\alpha}{1+\delta\alpha} \right), \quad (7)$$

где $a' = a + \frac{d}{2}$, а размер $a \leq 1,25b$.

Усилие в нижнем поясе стропильной фермы в момент обрушения составляло 348кН. С учетом этого факта, а также принятых размеров фланца, показанных на рисунке 2, и несущей способности болта М20 $T^*=55$ кН несложно убедиться в том, что суммарная несущая способность четырех болтов более чем в полтора раза меньше действующего усилия.

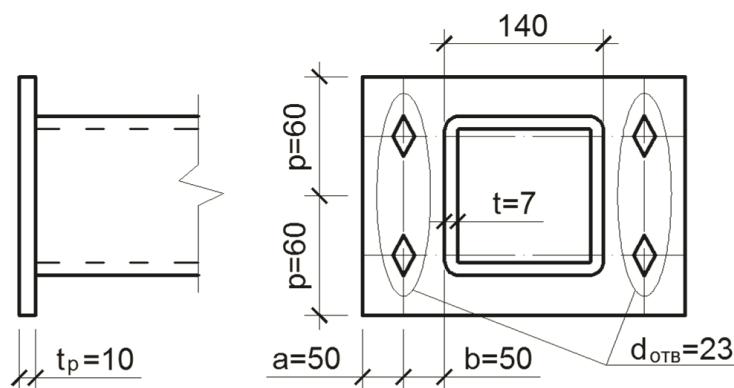


Рис. 2 – Принятые размеры фланца

Подстановка фактических параметров в формулы (1)-(6) дает возможность установить несущую способность соединения по методике CIDECT, равную 138кН, что также меньше фактического усилия. Таким образом, принятая конструкция монтажного узла не обладает необходимой прочностью.

Представляет интерес сравнение параметров фланцев, подобранных по отечественной методике и формулам (1) – (7). Рекомендации [1] требуют, чтобы в монтажном узле растянутого пояса стропильной фермы применялись высокопрочные болты. То же самое рекомендуют и специалисты CIDECT. Кроме того, согласно [1] для фланцев необходимо применять высокопрочную сталь 09Г2С-15 или 14Г2АФ-15 с гарантированными механическими свойствами в направлении толщины проката.

В соответствии с требованиями отечественных норм принимаем первую из перечисленных выше сталей (С375) с расчетным сопротивлением $R_y = 345\text{МПа}$ и высокопрочные болты М20 из стали 40Х Селект с площадью поперечного сечения $A_n = 2,45\text{см}^2$ и расчетным сопротивлением растяжению $R_{bh} = 755\text{МПа}$. Несущая способность одного болта $T^* = 75,5 \cdot 2,45 = 185\text{kН}$. Усилие, которое могут выдержать четыре болта, составляет 740кН, что практически вдвое больше расчетного.

Сохраняя неизменными размеры фланца в плане и расстояния между болтами, на основании (3) получим следующее неравенство $22,9\text{мм} \leq t_p \leq 29,2\text{мм}$. Интерес представляет тот факт, что методика CIDECT предлагает проектировщику определенную свободу при назначении толщины листа. Если же воспользоваться Рекомендациями [1], то согласно им, требуемая толщина фланца составит 29мм.

Обратимся, наконец, к выражению (5) – параметру гибкости фланца. α может быть равно нулю только в случае, когда $t_p = \sqrt{KT^*}$. При рассмотрении реальных узлов в выражение (5) вместо несущей способности болта T^* обычно подставляют величину фактического усилия в нем P_f , что приводит к уменьшению t_p . С другой стороны эта замена дает возможность подставить (3) в (5) и установить предельные значения параметра гибкости:

$$\frac{a + d/2}{a + b + t} \geq \alpha \geq 0. \quad (8)$$

При α равном нулю мы имеем «жесткий» фланец, который предлагают применять российские нормативные документы. Левая часть неравенства (8) соответствует «гибкому» фланцу, допустимому в конкретном случае. Заметим, что α зависит от диаметра болтов, параметров их размещения и толщины подходящего к узлу замкнутого профиля.

(8) можно представить в безразмерном виде:

$$\frac{1 + 2k_a}{2(k_a + k_a k_b + k_t)} \geq \alpha \geq 0, \quad (9)$$

где $k_a = a/d$, $k_b = b/a = k_a/d$, $k_t = t/d$.

В пределе $k_b = 0,8$, а из удобства размещения болтов $k_a \approx 2,5$, тогда

$$\frac{6}{9 + 2k_t} \geq \alpha \geq 0. \quad (10)$$

Очевидно, что k_t всегда меньше единицы, поэтому предельное значение параметра гибкости оказывается близким к 0,6.

Относительно тонкие фланцы обладают определенной податливостью. Этот факт необходимо учитывать при проектировании конструкций с их использованием. Исследования CIDECT показывают, что с ростом α во фланце начинают развиваться пластические деформации и при теоретически возможном достижении параметром гибкости значения, равного единице, в узле происходит образование пластического шарнира.

Отечественные документы нормируют только упругую работу монтажных узлов, поэтому вопрос о допустимом уровне ограниченных пластических деформаций остается открытым и требует проведения дополнительных исследований. Тем не менее, вообще отказываться от использования гибких фланцев в монтажных узлах строительных конструкций с элементами из замкнутых профилей вряд ли стоит. Мировой опыт показывает, что их применение в ряде случаев приводит к существенной экономии стали при обеспечении безопасной работы стальных конструкций.

Список литературы / References

- Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций. - М.: Госстрой СССР, 1989. - 54 с.
- СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: Изд-во стандартов, 2011. - 142 с.
- Design Guide For Rectangular Hollow Section (Rhs) Joints Under Predominantly Static Loading - Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire, 2009. - 156p.

Список литературы на английском языке / References in English

- Rekomendacii po raschetu, proektirovaniyu, izgotovleniju i montazhu flancevyh soedinenij stal'nyh stroitel'nyh konstrukcij [Guidelines for calculation, design, manufacture and assembly of flanged joints of steel building structures]. - M.: Gosstroj SSSR, 1989. - 54p. [in Russian]
- SP 16.13330.2011. Stal'nye konstrukcii. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-23-81*[SP 16.13330.2011. Steel structures. The updated edition of SNiP II-23-81 *]. M.: Izd-vo standartov, 2011. - 142p. [in Russian]
- Design Guide For Rectangular Hollow Section (Rhs) Joints Under Predominantly Static Loading - Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire, 2009. - 156p. [in English]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.132

Власов А.С.¹, Татмышевский К.В.²

¹Аспирант, ²Доктор технических наук,

Владимирский государственный университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация

Обеспечение помехоустойчивости и повышение информативности датчиков, посредством использования сенсорных элементов на основе явления – механолюминесценция. Выходным сигналом механолюминесцентного сенсорного элемента является оптическое излучение, вследствие данной особенности исключается воздействие электромагнитных помех при передаче информации. Величина выходного сигнала пропорциональна давлению, действующему на сенсор, а пороговый характер зависимости интенсивности свечения от приложенного давления обеспечивает нечувствительность датчиков к незначительным нагрузкам и вибрациям в процессе эксплуатации изделий. Такие датчики могут применяться в системах охраны периметра, комплексах диагностики состояния горных пород и строительных сооружений, а также использоваться в составе композиционных материалов для ответственных сложно-диагностируемых изделий.

Ключевые слова: механолюминесценция, датчик импульсного давления.

Vlasov A.S.¹, Tatmishevskiy K.V.²

¹Postgraduate student, ²PhD in Engineering, Vladimir State University

PERSPECTIVES OF MECHANIC-FLUORESCENT SENSOR ELEMENT APPLICATION

Abstract

Interference immunity and the increase of sensors information content with the help of sensor elements based on the following phenomenon – mechanical fluorescence. The output signal of the mechanic-fluorescent sensor element is optical radiation. This feature excludes the impact of electromagnetic interference in the process of information transmission. The output value is proportional to the pressure impacting the sensor while the dependency of fluorescence intensity on the applied pressure provides the insensitivity to small loads and vibrations during the operation of the products. Such sensors can be used in perimeter protection systems, at complexes aimed at diagnosing the condition of rocks and building structures or as a part of composite materials for demanding hard-diagnosed products.

Keywords: mechanic-fluorescent, impulsive pressure sensor.

Одним из направлений совершенствования и развития измерительных приборов и информационно - измерительных систем является создание принципиально новых датчиков внешних физических воздействий. При этом особое внимание уделяется разработке датчиков давления, как основных элементов, позволяющих повысить и расширить объем поступающей в систему информации о механических внешних воздействиях. Восприятие полей давления воспроизводит чувство осязания, например, в адаптивных захватных устройствах, не менее важное для управления роботами, чем зрение. Способность к восприятию импульсных полей давления ещё более важна, так как их воздействие может создавать катастрофические для различных устройств ситуации. К таким ситуациям можно отнести удар мобильного робота при наезде на препятствие, разрушение корпуса робота при падении тяжелых предметов, метеоритные потоки, воздействующие на космические спутники связи и навигации, срабатывание автомобильной подушки безопасности и др.

Особенности условий функционирования технических приборных систем одновременно выдвигают противоречивые требования. С одной стороны, это требования повышения чувствительности к входным механическим воздействиям, обеспечения многоканальности, быстродействия и высокой пространственной разрешающей способности. С другой стороны, требование повышения помехоустойчивости в условиях воздействия интенсивных естественных и искусственных электромагнитных помех. Первое требование обусловлено необходимостью более точной оценки ситуации и является следствием расширения диапазона входных воздействий при одновременной необходимости тактильного ощущения значительных по площади элементов техники, взаимодействующих с внешней средой. Второе требование вызвано усложнением электромагнитной обстановки в зоне функционирования систем, а также тем, что выполнение первого требования в большинстве случаев достигается применением электронных схем усиления сигнала датчиков. Вопросы обеспечения помехоустойчивости и повышения информативности датчиков всегда были одними из основных в системах управления и измерительной технике. Особую актуальность они приобрели в связи с развитием измерительных и управляющих устройств автономных систем управления в авиации, космонавтике, энергетике, оборонной технике, охране важных объектов. Это связано со сложной электромагнитной обстановкой как внешней, так и внутренней среды функционирования датчиков.

Радикальным путем разрешения проблемы помехоустойчивости в информационных цепях приборных систем является переход от электрических к оптоэлектронным компонентам и устройствам для передачи, приема и обработки сигналов. В этом случае протяженные кабельные электрические линии связи могут быть заменены волоконно-оптическими, практически не подверженными воздействию электромагнитных помех.

Однако такое кардинальное решение проблемы повышения помехоустойчивости информационных цепей потребовало изыскания возможности построения датчиков, преобразующих различные входные механические воздействия в выходной оптический сигнал, пригодный для дальнейшей обработки. Наиболее целесообразным и перспективным решением этой задачи является применение датчиков импульсного давления с механолюминесцентными чувствительными элементами сосредоточенного и распределенного типа. Такие датчики работают по принципу прямого преобразования входного механического воздействия (давление, сила, ускорение) в выходной оптический сигнал видимого или инфракрасного спектра. К достоинствам таких датчиков также следует отнести простоту технической реализации чувствительных элементов с распределёнными характеристиками,

позволяющую решить проблему обеспечения тактильной чувствительности элементов конструкций, имеющих значительную площадь поверхности.

Уровень развития компьютерной техники позволяет быстро, надёжно и при достаточно низких затратах обрабатывать большие массивы информации. Однако основную информацию о внешней обстановке и внутреннем состоянии технической системы поставляют датчики. Если информация, вырабатываемая датчиками, будет недостоверной, то ни какими программно-аппаратными средствами невозможно обеспечить информативность измерений и, соответственно, управляемость процессов.

Успехи в области полупроводниковых источников излучения, фотоприемников и волоконных световодов с малым затуханием привели к появлению волоконно - оптических каналов передачи информации, которые эффективно используются как для магистральной, так и для внутриобъектовой связи. Использование внутриобъектовых волоконно - оптических каналов определяется необходимостью уменьшения размеров и массы линий связи, а также повышением плотности потока информации и её помехозащищенности при передаче от датчиков различных физических величин.

Измерительные системы, с механолюминесцентными первичными преобразователями обладают рядом преимуществ:

- устойчивостью к электромагнитным помехам ввиду использования волоконно - оптических каналов передачи информации как для магистральной, так и для внутриобъектовой связи

- простотой конструкции ввиду отсутствия необходимости питания датчика
- возможностью построения датчиков с распределенными параметрами

Механолюминесцентные датчики могут применяться в:

- промышленной робототехнике в роли тактильных датчиков адаптивных захватных устройств манипуляторов и контактных датчиков препятствий мобильных роботов наземного базирования

- военной технике как сосредоточенные датчики удара для систем управления, распределённые датчики удара для систем управления автономных летательных аппаратов, контактные датчики препятствий безэкипажных транспортных средств

- автомобильной технике как датчики детонации двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, датчики управления срабатыванием подушек безопасности

- системах охраны периметра
- комплексах диагностики состояния горных пород и строительных сооружений

Перспективным направлением применения механолюминесцентных чувствительных элементов является разработка композиционных материалов и конструкций, обладающих свойством самодиагностики. В настоящее время композиты в виде панелей широко используются в машиностроении, самолёто - и ракетостроении, при строительстве мостов, спортивных сооружений и других отраслях промышленности.

Однако композиционным материалам свойственен недостаток, проявляющийся в том, что при различных ударных воздействиях деформации и разрушения могут наблюдаться на стороне, противоположной приложению воздействия. С наружной стороны после прекращения воздействия композитные панели возвращаются в исходное состояние, и место повреждения может быть не обнаружено обычным внешним осмотром.

Добавление в эпоксидный компаунд механолюминесцентных материалов и создание конструкции, которая обеспечивает передачу излучения по оптическим волокнам к системе фотоприёмников, позволяет решить задачу мониторинга и самодиагностики конструкций из композитов.

В качестве положительного свойства отмечается наличие порогового характера зависимости интенсивности свечения от приложенного давления. Это обстоятельство обеспечивает нечувствительность датчиков к незначительным нагрузкам и вибрациям в процессе эксплуатации изделий.

Распределённые чувствительные элементы могут быть встроены в корпуса, обтекатели, кромки крыльев беспилотных летательных аппаратов и другие конструкции технических изделий воздушного базирования, подвергающиеся в ходе эксплуатации механическим ударным воздействиям.

Дальнейшие исследования явления механолюминесценции позволят повысить эксплуатационные характеристики сенсорных элементов на его основе и могут способствовать более глубокому внедрению датчиков данного типа. Особое внимание следует обратить на поведение материала под действием многократных нагрузок, влияние на выходной оптический сигнал изменений внутренней структуры материала.

Список литературы / References

1. Татмышевский К.В. Механолюминесцентные сенсорные элементы. Основы теории, расчета и вопросы проектирования : учебное пособие для студентов вузов / К.В. Татмышевский - Владимир: ВлГУ, 2004 - 135 с. ISBN 5-89368-494-X

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tatmyshevskij K.V. Mehanoljuminescentnye sensornye jelementy. Osnovy teorii, rascheta i voprosy proektirovaniya : uchebnoe posobiye dlya studentov vuzov [Mehanoillumination sensor elements. Basic theory, calculation and design questions: guide for students] / K.V. Tatmyshevskij - Vladimir: VlGU, 2004 - 136 s.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.142

Вяткин А.И.

Кандидат технических наук, Тюменский государственный университет

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЕНТИЛЕЙ 15С27НЖ

Аннотация

Выполнен расчет количественных показателей надежности по результатам проведенных испытаний вентилей 15с27нж, обработанных на станке 1283 и изготовленных на заводе в соответствии с действующим технологическим процессом. Проведенные испытания уплотнений с кольцевым микрорельефом на надежность показали, что данные уплотнения по своей работоспособности не уступают уплотнениям с плоскими поверхностями. В результате выполненной работы установлено, что предложенный способ обработки уплотнительной поверхности корпуса вентиля является более производительным и позволяет исключить такую трудоемкую операцию, как притирка труднодоступных поверхностей.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, затворы вентилей, наработка на отказ, вероятность безотказной работы.

Vyatkin A.I.

Assistant professor, PhD in Engineering

Tyumen State University

CALCULATION OF QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF 15S27NZH VALVE RELIABILITY

Abstract

The article contains the calculation of quantitative indices of reliability basing on the results of the carried out tests of 15s27nzh valves processed on 1283 machine and made at the plant according to the operating technological process. The tests on reliability with the ring micro-relief seals showed that the given seals are not inferior in its performance to seals with flat surfaces. According to the results of the completed work one can state the offered method for processing the valve body sealing surface is more efficient and allows avoiding such a laborious operation as grinding of hard surfaces.

Keywords: operational reliability, locks of valves, time between failures, probability of no-failure operation.

Анализ эксплуатационной надёжности различных изделий показывает, что до 40 % их отказов вызвано дефектами производства. В связи с этим в транспортном машиностроении вопросы герметичности затворов контактного типа остаются актуальными. Затвор с кольцевым микрорельефом является наиболее технологичным затвором.

Проведенный теоретический анализ процесса формирования кольцевого микрорельефа и разработанная блок-схема расчета [1, С. 22] позволили получить расчетные зависимости продолжительности обработки для широкого диапазона оборотов детали, давлений инструмента и кругов различной зернистости. Однако для практического использования полученных зависимостей необходима экспериментальная проверка расчетных данных в практическом диапазоне изменения режимов обработки и характеристик абразивных кругов. С целью определения эксплуатационной надежности изделий, совместно с предприятием изготовителем вентилей 15с27нж, была разработана программа, определяющая объем, порядок и методику испытаний затворов вентилей. При составлении программы были использованы рекомендации, изложенные в работе [2, С.15].

1. Опытные испытания

Испытания проводились на шести вентилях, обработанных по предложенному технологическому процессу на станке 1283 и, параллельно, испытывались шесть вентилей, изготовленных по действующему на заводе технологическому процессу.

Условия герметичности определялись по ГОСТ 9544-2005 [3] и должны были удовлетворять 1 классу, т.е. уплотнения должны быть герметичны при давлении 4 МПа, при проверке воздухом.

Испытания проводились на потоке и на статике. Количество циклов срабатывания составляло:

- а) 40% расчетного гамма-процентного ресурса (440 циклов) на потоке;
- б) Остальное (660 циклов) на статике.

Основные параметры испытаний:

- а) на потоке - рабочая среда - вода, давление 4 МПа, температура 20⁰С, скорость потока не менее 1,5 м/с;
- б) на статике - рабочая среда - воздух, давление 4 МПа.

Испытание на потоке проводили на заводском стенде "Гидравлическое кольцо". Перекрытие затвора при наработке циклов осуществляли штатным маховиком.

Испытания на статике проводились на специальном стенде, обеспечивающем необходимое давление рабочей среды и крутящий момент на шпинделе вентиля.

Частота срабатываний затвора при наработке циклов "открыто-закрыто" - 2 цикла в минуту (принята ориентировочно).

Перекрытие затвора при испытании на герметичность осуществляли тарированным ключом.

Подача среды при испытании осуществлялась под золотник.

Испытания проводили до четырех последующих отказов. После каждого отказа уплотнительные поверхности восстанавливали. Для восстановления опытных образцов использовали специально спроектированное и изготовленное приспособление.

Обработку труднодоступной уплотнительной поверхности осуществляли в следующей последовательности. Предварительную обработку выполняли сменной головкой, имеющей два вращательных движения, жестким абразивным инструментом зернистостью 16. Режимы обработки определялись в зависимости от характеристик обрабатываемого материала.

Окончательную обработку осуществляли эластичным абразивным инструментом, который крепился на сменной головке, имеющей одно вращательное движение.

Время восстановления одной уплотнительной поверхности составляло двадцать минут.

В результате испытаний был получен следующий ряд отказов (таблица 1) для опытных вентиляй с 1 по 6 и для вентиляй, изготовленных по технологии завода (с 7 по 12). Причина отказа - негерметичность пары золотник-седло.

Таблица 1 – Результаты испытания вентиляй

№ п/п	Отказы			
	1	2	3	4
Опытные образцы				
1	2900	2400	2500	2800
2	3000	2700	3000	2500
3	2500	2400	2800	2400
4	2500	2400	2600	2400
5	2700	3000	2600	3000
6	3000	3000	2700	2800
Заводские изделия				
7	2800	2400	2500	2500
8	2600	2400	2300	2700
9	2800	2700	2400	2500
10	2700	2400	2200	2500
11	2500	2300	2400	2400
12	2400	2300	2500	2600

2. Расчет количественных показателей надежности по результатам проведенных испытаний

Исходными данными для расчета являются:

- а) время безотказной работы N_i ;
- б) время восстановления t_i ;
- в) количество отказов при испытаниях m_i ;
- г) суммарная наработка при испытаниях $N_{\Sigma} = \sum N_i$;

По результатам испытаний опытных образцов расчетом определяют закон распределения времени безотказной работы, закон распределения времени восстановления, среднеквадратическое отклонение и доверительные границы следующих количественных показателей надежности и ремонтопригодности, а именно:

- а) наработка на отказ - N_c ;
- б) средней наработки до первого отказа N_1 ;
- в) интенсивности отказов (для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы λ);
- г) вероятности безотказной работы;
- д) среднего времени восстановления - t ;
- е) коэффициента простой - K_p ;
- ж) коэффициента технического использования K_t .

Количественные показатели надежности и ремонтопригодности рассчитываются при доверительной вероятности $\alpha=0,90$.

Определение закона распределения производится путем проверки близости экспериментального распределения с выбранным t теоретическим распределением. При определении закона распределения заполняется таблица 2.

Таблица 2 – Параметры закона распределения

N_i	n_i	H_i	$H_i/\sum n_i$	$1 - H_i/\sum n_i$
Опытные образцы				
2400	5	5	0,208	0,792
2500	4	9	0,373	0,625
2600	2	11	0,458	0,542
2700	3	14	0,583	0,417
2800	3	17	0,708	0,291
2900	1	18	0,750	0,250
3000	6	24	0,100	0,000
Заводские изделия				
2300	3	3	0,125	0,875
2400	7	10	0,416	0,584
2500	6	16	0,666	0,334
2600	2	18	0,750	0,250
2700	3	21	0,875	0,125
2800	3	24	1,000	0,000

Данные, записанные в графах 1 и 5, наносят на специальную координатную сетку, соответствующую нормальному закону распределения (рис. 1).

С графика снимается наибольшее отклонение D между проведенной интерполяционной прямой и экспериментальными точками по оси ординат.

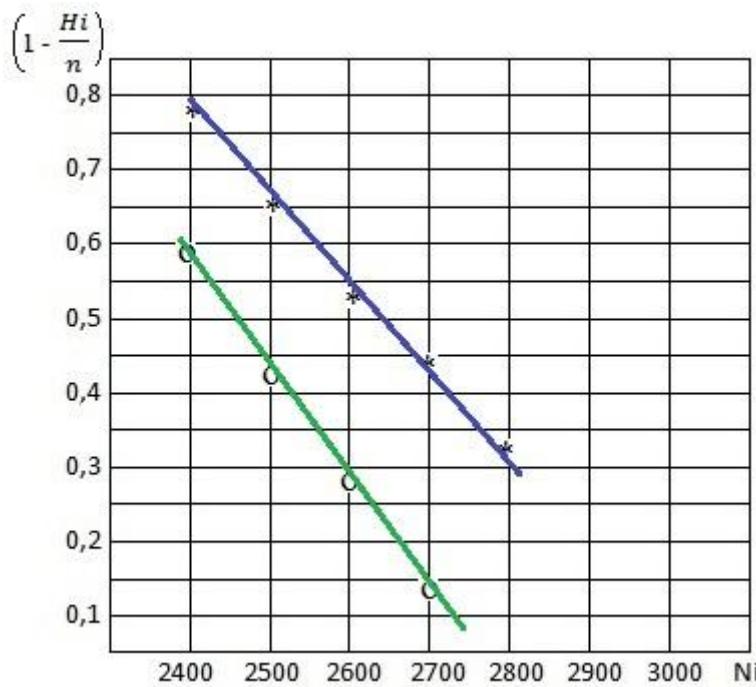


Рис.1 - Координатная сетка для нормального закона распределения.

Примечание: * - опытные образцы; o - заводские изделия

По найденной величине D рассчитывается величина $D\sqrt{n}$;

$D = 0,05D_1\sqrt{24} = 0,245$; $D_2 = 0,07 D_1\sqrt{24} = 0,343$ Согласие с нормальным распределением хорошее, так как $D\sqrt{24} < 1$.

а) Доверительные границы наработки на отказ:

$$N_{c1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{i1} = \frac{1}{24} 646000 = 2690;$$

$$N_{c2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{i2} = \frac{1}{24} 604000 = 2510$$

$$S_1(N_{c1}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{i1} - N_{c1})^2}{n-1}} = 232;$$

$$S_2(N_{c2}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{i2} - N_{c2})^2}{n-1}} = 162;$$

$$\underline{N}_{c1} = N_{c1} - \frac{S_1(N_{c1})}{\sqrt{n}} \eta(n-1) = 2690 - \frac{232 \cdot 1,714}{\sqrt{24}} = 2609;$$

$$\overline{N}_{c1} = N_{c1} + \frac{S_1(N_{c1})}{\sqrt{n}} \eta(n-1) = 269 + \frac{232 \cdot 1,714}{\sqrt{24}} = 2771;$$

$$\underline{N}_{c2} = N_{c2} - \frac{S_2(N_{c2})}{\sqrt{n}} \eta(n-1) = 2566;$$

$$\overline{N}_{c2} = N_{c2} + \frac{S_2(N_{c2})}{\sqrt{n}} \eta(n-1) = 2454;$$

где n – число отказов при испытании;

$\eta(n-1)$ – нормировочный параметр, зависящий от количества отказов, в зависимости от доверительной вероятности $\alpha = 0,90$.

б) Доверительные границы средней наработки до первого отказа:

$$N_{I1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i = \frac{16600}{6} = 2766; \dots N_{I2} = 2633;$$

$$S_1(N_{I1}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - N_c)^2}{n-1}} = 233; \dots S_2(N_{I2}) = 163;$$

$$\underline{N}_{I1} = N_{I1} - \frac{S_1(N_{I1})\eta(n-1)}{\sqrt{n}} = 2574; \dots \underline{N}_{I2} = 2498;$$

$$\overline{N}_{I1} = N_{I1} + \frac{S_1(N_{I1})\eta(n-1)}{\sqrt{n}} = 2957; \dots \overline{N}_{I2} = 2767;$$

где n – число первых отказов, равное числу изделий, поставленных на испытание

в) Доверительные границы вероятности безотказной работы:

$$\underline{P}_1(N) = \frac{F_0\left[\frac{\underline{N}_{c1} - N}{S_1(\underline{N}_{c1})}\right]}{F_0\left[\frac{\overline{N}_{c1} - N}{S_1(\overline{N}_{c1})}\right]} = \frac{F_0\left[\frac{2609 - 2000}{232}\right]}{F_0\left[\frac{2609}{232}\right]} = 0,9960;$$

$$\overline{P}_1(N) = \frac{F_0\left[\frac{\overline{N}_{c1} - N}{S_1(\overline{N}_{c1})}\right]}{F_0\left[\frac{\underline{N}_{c1} - N}{S_1(\underline{N}_{c1})}\right]} = \frac{F_0\left[\frac{2771 - 2000}{232}\right]}{F_0\left[\frac{2771}{232}\right]} = 0,9950;$$

$$\underline{P}_2(N) = 0,9974; \dots \overline{P}_2 = 0,9997;$$

$$F_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot dx \text{ - интеграл вероятности.}$$

г) Доверительные границы коэффициента простоты:

$$\underline{K}_{n1} = C_1 \cdot K(m, n); \dots \overline{K}_{n1} = C_2 \cdot K(m, n);$$

где C_1 и C_2 определяются из приложения 10 в зависимости от m – числа отказов и $m/2$ – половины количества замеров времени восстановления.

$$\tau_{C1} = 1 \text{ час} 4 \quad \tau_{C2} = 2 \text{ часа (по данным испытаний)}$$

$$C_1 = 0,6 \quad C_2 = 1,66$$

$$\underline{K}_{n1} = 2,23 \cdot 10^{-4}; \dots \overline{K}_{n1} = 6,17 \cdot 10^{-4};$$

$$\underline{K}_{n2} = 4,78 \cdot 10^{-4} \dots \overline{K}_{n2} = 1,323 \cdot 10^{-4}$$

д) Доверительные границы коэффициента технического использования:

$$\underline{K}_T = \frac{1}{1 + \overline{K}_n}; \dots \overline{K}_T = \frac{1}{1 + \underline{K}_n};$$

$$\underline{K}_{T1} = 0,9995; \dots \overline{K}_{T1} = 0,9997;$$

$$\underline{K}_{T2} = 0,9995 \quad \overline{K}_{T2} = 0,9986$$

В результате выполненной работы установлено, что предложенный способ обработки уплотнительной поверхности корпуса вентиля является более производительным и позволяет исключить такую трудоемкую операцию, как притирка труднодоступных поверхностей.

Проведенные испытания уплотнений с кольцевым микрорельефом на надежность показали, что данные уплотнения по своей работоспособности не уступают уплотнениям с плоскими поверхностями.

Таким образом, решена задача замены притирки, которая является "узким местом" технологического процесса обработки, более производительным и простым способом обработки, при котором доводочная операция выполняется на обычном металлорежущем оборудовании.

Список литературы / References

1. Вяткин А.И. Структурная схема расчета технологического обеспечения заданных параметров микрогеометрии кольцевого микрорельефа / Вяткин А.И., Хмелев С.А., Вяткин И.А, // Вестник развития науки и образования. - 2011. - №3. - С. 21-30.
2. Вяткин А.И. Особенности процесса формирования кольцевого микрорельефа / Вяткин А.И. Хмелев С.А., Вяткин И.А. // Научная жизнь. - 2009. - №2. - С. 11-16.

3. ГОСТ 9544-2005. Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов. – Введ. 2008–04–01. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2008. – 16 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vyatkin A.I. Strukturnaya skhema rascheta tekhnologicheskogo obespecheniya zadannyh parametrov mikrogeometrii kol'cevogo mikrorel'efa [Block diagram of calculating the technological provision of the specified parameters of the ring micro-relief micro-geometry] / Vyatkin A.I., Khmelev S.A., Vyatkin I.A. // Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya. [Bulletin of science and education development]. - 2011. - №3. - P. 21-30. [in Russian]

2. Vyatkin A.I. Osobennosti processa formirovaniya kol'cevogo mikrorel'efa [Features of the formation of the annular microrelief] / Vyatkin A.I., Khmelev S.A., Vyatkin I.A. // Nauchnaya zhizn'. [Scientific life].- 2009. - № 2. – P. 11-16. [in Russian]

3. GOST 9544-2005. Armatura truboprovodnaya zapornaya. Klassy i normy germetichnosti zatvorov. [Piping block valves. Classes and norms of gate sealability] – Vved. 2008-04-01. – M. : Izd-vo Standartinform, 2008. – 16 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.123

Вяткин А.И.

Кандидат технических наук, Тюменский государственный университет
ОБЩИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ИЗНОСА ГЛОБОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Аннотация

Предложен алгоритм расчета износа глобоидной передачи, объединяющий модули по расчету полей зазоров в зацеплении, податливости элементов глобоидной пары, распределения нагрузки и расчета износа. В представленной модели процесс износа глобоидного зацепления дискретизируется, при этом предполагается, что износ элементов зацепления во всех контактных точках происходит мгновенно только на границах малого временного интервала, а внутри него соприкасающиеся поверхности считаются неизнашивающимися. Таким образом, задача изменения формы поверхностей зубьев колеса и витков червяка на каждом шаге износа может быть решена при численной реализации принятого подхода.

Ключевые слова: глобоидная передача, износ, шаг износа, фаза зацепления.

Vyatkin A.I.

Assistant professor, PhD in Engineering, Tyumen State University

GENERAL APPROACH TO CALCULATING DEPRECIATION OF GLOBOID TRANSMISSION

Abstract

The article suggests an algorithm for calculating the depreciation of globoid transmission which combines modules for the calculation of the margins gaps in engagement, compliance of globoid pair elements, load distribution and depreciation calculation. In the presented model the process of the globoid engagement depreciation is sampled, in which case one can assume that the wear of the engagement elements in all contact points is instantaneous just on the borders of a small time interval, while within it the mating surfaces are considered wear-free. Thus, the task of changing the shape of the gear teeth surfaces and the worm turns at every depreciation step can be solved by numerical implementation of the approach taken.

Keywords: globoid transmission, depreciation, depreciation step, engagement phase.

К основным функциональным показателям червячных передач с глобоидным червяком, обеспечившим их широкое применение в ряде отраслей техники, следует отнести высокую нагруженную способность и долговечность, низкую вибрационность и малые энергетические потери. Однако, более высокий, по сравнению с другими видами червячных передач, уровень эксплуатационных свойств глобоидных передач удается, как показал опыт применения и результаты исследований, реализовать только в том случае, если на этапе проектирования выбраны рациональные параметры зацепления и технологические варианты изготовления последнего. В связи с этим при проектировании и изготовлении глобоидных передач возникает ряд сложных проблем, решение которых до сих пор основывалось преимущественно на опыте эксплуатации и экспериментальных исследованиях. Основные функциональные показатели для глобоидных передач, как и для всех видов червячных передач, существенно определяются объективно неблагоприятными условиями трения в зацеплении, а их уровень и, особенно, стабильность работы – износом элементов зацепления. Вследствие этого, указанные исследования и обобщение результатов опыта эксплуатации являются трудоемкими, дорогостоящими и требуют длительного времени.

Современные тенденции развития машиностроения требуют большего учета конкретных условий эксплуатации глобоидных передач, расширения разнообразия их типоразмеров и вариантов зацепления, технологических способов изготовления его элементов. В этих условиях сокращение затрат и времени на выбор параметров зацепления, вариантов технологических процессов при его изготовлении, контроле и доводке может быть достигнуто за счет применения методов компьютерного моделирования и проектирования. В данной работе предложен общий подход к разработке эволюционной модели износа глобоидного зацепления.

Упрощенная блок-схема расчета модели износа глобоидного зацепления представлена на рис. 1, объединяющая модули по расчету полей зазоров в зацеплении, податливости элементов глобоидной пары, распределения нагрузки и расчета износа [1].

В качестве исходной принятая расчетная схема глобоидного зацепления, представляющая систему зубьев колеса и витков червяка, контактирующих между собой. Предполагается, что зубья и витки являются деформируемыми телами, рабочие поверхности которых изменяют свою форму в процессе износа. Число контактирующих зубьев и витков червяка считается переменным, зависящим от внешней нагрузки и от относительного положения колеса и

червяка. Принято, что мгновенное относительное положение колеса и червяка определяется не только обобщенной координатой механизма, но и погрешностями формообразования зубьев колеса и витков червяка, погрешностями монтажа, деформациями и износом деталей передачи (включая колесо и червяк).

В качестве обобщенной координаты зацепления выбран угол поворота червяка, который далее называется фазой зацепления. Считается, что нагрузка приложена к колесу в виде внешнего момента, а момент на червяке определяется из условия обеспечения заданного движения. При описании и анализе выбранной модели глобоидного зацепления внутренние динамические процессы не учитываются, внешние - могут быть учтены при задании нагрузки. Таким образом, предполагается, что глобоидное зацепление функционирует в квазистатических условиях.

В соответствии с выбранным подходом непрерывный процесс износа дискретизируется. При этом предполагается, что износ элементов зацепления во всех контактных точках происходит мгновенно, только на границах малого временного интервала, а внутри него соприкасающиеся поверхности считаются неизнашивающимися. Естественно возникает вопрос о временной продолжительности этого дискретного состояния или продолжительности шага износа. Является очевидным, что чем меньше длительность шага износа, тем точнее будет моделироваться процесс износа. Однако время шага износа не может быть бесконечно малым, поскольку возможности ЭВМ ограничены. В связи с этим за шаг износа взято время, в течение которого максимальный износ сопряжения ΔH станет численно равным сумме высот микронеровностей рабочих поверхностей витков червяка ($Rz1$) и зубьев колеса ($Rz2$). Значения R берутся из рабочих чертежей. Для рассматриваемой передачи эта сумма равнялась 10 мкм.

Широко известно, что в период приработки износ изменяется по нелинейному закону (рис.2), отсюда и шаг износа будет переменным. За минимально возможный шаг износа взято время, соответствующее длительности одного цикла зацепления, которое вычисляется в зависимости от геометро-кинематических параметров передачи и режима нагружения. Например, для рассматриваемой глобоидной передачи, с числом заходов равным единице и постоянным моментом нагружения на валу червячного колеса, за цикл зацепления одного зуба колеса с витком червяка принято время прохождения зуба колеса с момента входа зуба колеса в зацепление с витком червяка до полного его выхода из зацепления, при этом зуб колеса последовательно проходит фиксированные расчетные фазы зацепления (для данного типоразмера передачи -17 фаз). Время цикла зацепления червяка с червячным колесом будет равно времени одного оборота колеса.

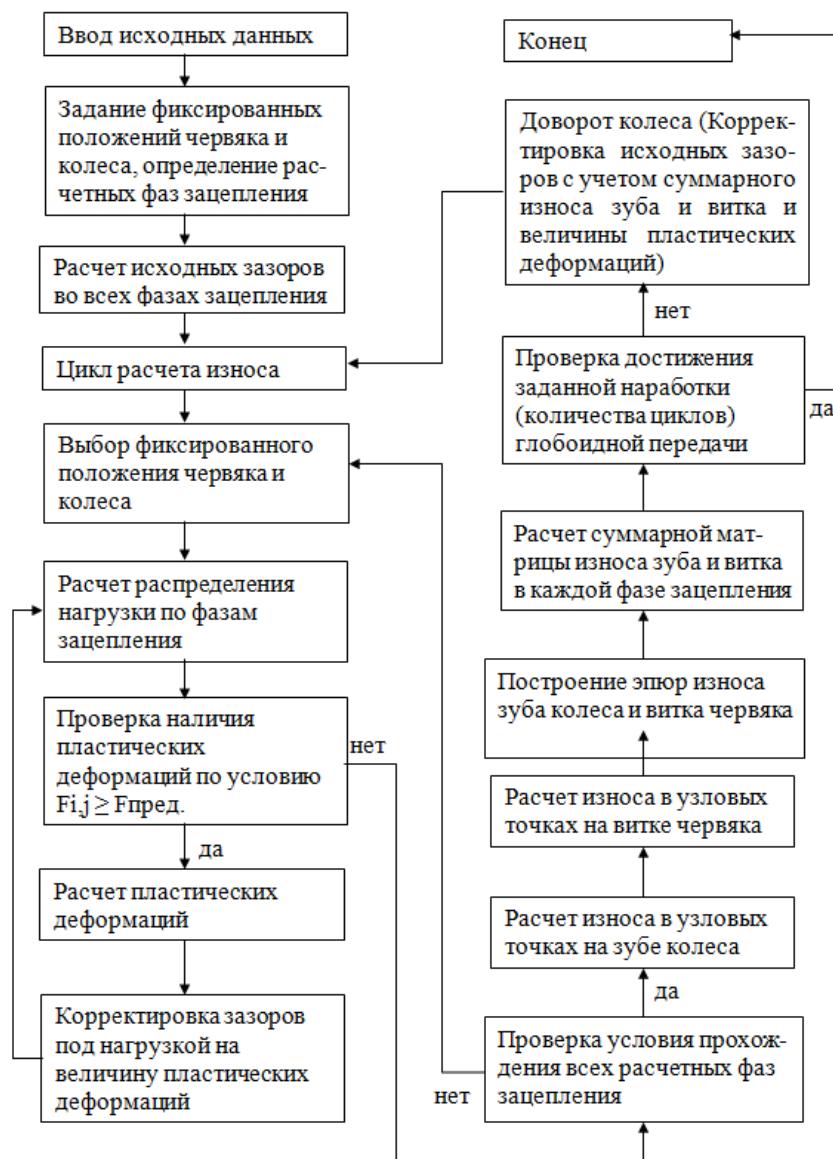


Рис. 1 – Блок-схема расчета износа глобоидной передачи

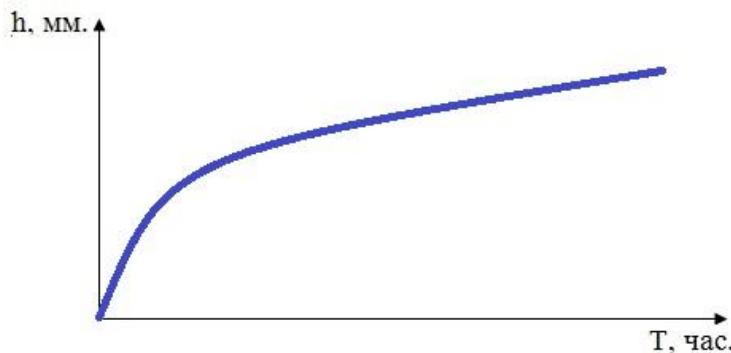


Рис. 2 – Характер изменения износа сопряжения h в период приработки T

При соблюдении условия $\Delta h_{\max} \geq \Delta H$, где Δh_{\max} - максимальный износ сопряжения за цикл зацепления червяка (в рассматриваемой передаче за один оборот колеса) шаг износа равен времени одного цикла зацепления червяка с колесом. Если $\Delta h_{\max} \leq \Delta H$, то вычисляется коэффициент:

$$N = \Delta H / \Delta h_{\max} \quad (1)$$

Шаг износа вычислялся по зависимости:

$$t_{\text{изн}} = N t_{\text{ц}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ц}}$ - время одного цикла зацепления червяка;

$t_{\text{изн}}$ - временной интервал, соответствующий шагу износа.

Информация о величине шага износа принципиально позволяет решить задачу расчета ресурса.

Принято, что износ в каждой контактной точке поверхностей колеса и червяка в начальной и конечной фазе шага износа определяется по зависимости [2]:

$$\Delta h_{i,j} = J_{i,j} \Delta L_{i,j} \quad (3)$$

где i, j - индексы, соответствующие положению контактной точки на поверхностях зуба колеса и витка червяка; $\Delta L_{i,j}$ - путь трения для выбранной точки зуба колеса (витка червяка); $J_{i,j}$ - интенсивность износа материала зубьев колеса (витка червяка) на данном шаге расчета износа.

Для определения интенсивности износа использовалось известное соотношение /3/:

$$J_{i,j} = K_{12} P_{ij} / HB \quad (4)$$

где P_{ij} - нормальное контактное давление в той же точке; HB - твердость материала зубьев колеса (витков червяка).

Входящий в соотношение (4) коэффициент K_{12} , характеризующий износстойкость материалов колеса и червяка, условия трения и изнашивания в рассматриваемой точке и определяемый расчетным или экспериментальным путем, предполагается заданным при построении и использовании модели износа.

Поскольку $\Delta h_{i,j}$ представляет собой линейный износ в направлении нормали к поверхности, изменения декартовых координат точки поверхности зуба колеса и витка червяка за шаг износа могут быть определены из соотношений:

$$\Delta X = \Delta h_{i,j} e_x, \quad \Delta Y = e_y, \quad \Delta Z = \Delta h_{i,j} e_z; \quad (5)$$

где $e(e_x, e_y, e_z)$ - орт нормали к соответствующей поверхности в контактной точке.

Используя выражение (1) и (3) получаем зависимость для износа зубьев колеса в виде:

$$\Delta h_{2ij} = N J_{2ij} \Delta L_{2ij} \quad (6)$$

где индекс 2 определяет принадлежность к колесу.

При определении износа витка червяка следует иметь ввиду, что на один цикл зацепления витка червяка приходится i циклов зацепления зуба колеса, где i - передаточное число. Поэтому зависимость определения износа (3) в окончательном виде перепишется в следующем виде:

$$\Delta h_{2ij} = i N J_{2ij} \Delta L_{2ij} \quad (7)$$

Таким образом, задача об изменении формы поверхностей зубьев колеса и витков червяка на каждом шаге износа может быть решена при численной реализации принятого подхода, если известны величины, входящие в выражения (3),(4),(5) и вид зависимости (5).

Список литературы / References

1. Вяткин А.И. Разработка и анализ расчетно-эволюционной модели износа глобоидного зацепления. : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.02 : защищена 03.10.97 : утв. 16.01.98 / Вяткин Александр Игоревич. – Курган, 1997. – 220 с.
2. Гриб В.В. Решение триботехнических задач численными методами. - М.: Наука, 1982. - 112с.
3. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания металлов. - М.: АН СССР, 1960. – 64 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vyatkin A.I. Razrabotka i analiz raschetno-ehvolucionnoj modeli iznosa globoidnogo zacepleniya [Development and analysis of computational and evolutionary model of globoid engagement depreciation] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.02.02. : defense of the thesis 03.10.97 : approved 16.01.98 / Vyatkin Aleksandr Igorevich. – Kurgan, 1997. – 220 p. [in Russian]
2. Grib V.V. Reshenie tribotekhnicheskikh zadach chislennymi metodami [The solution of tribological problems by numerical methods] / V.V. Grib. – M : Nauka, 1982. – 112 p. [in Russian]
3. Khrushchov M.M., Babichev M.A. Issledovanie iznashivaniya metallov [Metal depreciation study] / M.M. Krushchov, M.A. Babichev. – M : AN SSSR, 1960. – 64 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.106

Вяткин А.И.

Кандидат технических наук, Тюменский государственный университет

ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЛОБОИДНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ИЗНОСА

Аннотация

В статье предложена схема расчета полей зазоров в зацеплении элементов глобоидной передачи, учитывающая накопленный износ витка червяка, зуба колеса и пластические деформации, возникающие при нагрузке на колесо. Изменение формы контактирующих поверхностей предложено учитывать с помощью алгоритма, реализуемого в три этапа. На первом этапе решается задача о положениях в глобоидном зацеплении с абсолютно жесткими звенями, дающая исходную матрицу зазоров. На втором этапе решается задача нахождения формы и положения площадок контакта неизнашивающихся сопряженных поверхностей с учетом пластических деформаций. Третий этап разработанного алгоритма предусматривает численное моделирование дискретизированного процесса износа зацепления.

Ключевые слова: матрица зазоров, износ, фаза зацепления, пластические деформации.

Vyatkin A.I.

Assistant professor, PhD in Engineering, Tyumen State University

DEVELOPMENT OF GLOBOID TRANSMISSION GEOMETRIC MODEL WITH REGARD TO DEPRECIATION

Abstract

The article suggests a scheme for calculating gaps margins in the engagement of globoid transmission elements with an account of accumulated depreciation of a worm round and a wheel tooth, as well as plastic deformations resulting from the load on the wheel. The article suggests taking account of a change in the form of contacting surfaces with the help of an algorithm implemented in three stages. At the first step we solve the problem of positions in globoid engagement with absolutely rigid links, which gives the original gaps matrix. At the second stage we deal with the problem of finding the shape and the position of the contact pads of wear-free mating surfaces with an account of plastic deformations. The third stage of the developed algorithm provides the numerical modeling of sampled engagement depreciation process.

Keywords: gaps matrix, depreciation, engagement phase, plastic deformation.

В связи с изменением формы контактирующих поверхностей в рассмотренной ранее расчетной схеме глобоидного зацепления изменяется их относительное положение и, как следствие, изменяются положение контактной точки, значения геометрических, кинематических и силовых характеристик контакта. Это приводит к необходимости решать сложные сами по себе и разнородные по применяемым методам задачи определения указанных выше величин на каждом шаге износа, что существенно затрудняет решение и увеличивает время расчета. Сложность решения усугубляется рядом особенностей глобоидного зацепления, в частности тем, что из-за высокой плотности контакта даже малые изменения формы сопряженных поверхностей могут приводить к значительному изменению положения, формы и размеров площадки контакта.

Как было показано в работе [1], трудности при нахождении геометрических и кинематических характеристик распределения нагрузки между зубьями колеса и витками червяка, а также давлений по площадкам контакта могут быть преодолены с помощью единого итерационного алгоритма решения задачи об относительном положении колеса и червяка. Данный алгоритм основывается, в конечном итоге, на определении зазоров в каждом цикле расчета между сопряженными поверхностями.

Нетрудно показать, что изменение формы сопряженных поверхностей также может быть учтено на основе аналогичного алгоритма. Действительно, изменение формы поверхностей при выбранной дискретной модели процесса износа происходит мгновенно, в конце шага износа и, следовательно, в фиксированной фазе зацепления.

Поэтому изменение формы поверхностей может быть учтено корректировкой положения колеса относительно червяка и сведено к упомянутой выше задаче о положениях.

Изменение формы контактирующих поверхностей предложено учитывать с помощью алгоритма, реализуемого в три этапа.

На первом этапе решается задача о положениях в глобоидном зацеплении с абсолютно жесткими звенями. Решение ведется с учетом особенностей и погрешностей схем формообразования зубьев колеса и витков червяка, погрешностей монтажа, с использованием аппарата теории зубчатых зацеплений. Для каждого оптимизированного положения червяка отыскиваются координаты точек касания сопряженных поверхностей и значения угла поворота колеса, соответствующие выбранному положению червяка. В этом положении вычисляются зазоры между сопряженными поверхностями в узлах сеток, построенных на поверхностях. При этом за основу бралась схема, предложенная А.В.Бондаренко [1], которую логично проиллюстрировать следующим образом.

Если червяк и зуб колеса рассечь одновременно плоскостью, перпендикулярной оси колеса, и цилиндром, соосным оси колеса, то в результате мы получаем две точки: точку t - принадлежащую витку червяка и точку P - принадлежащую боковой поверхности зуба колеса (рис.1). Расстояние между этими точками, измеренное по дуге секущего цилиндра, и дает нам зазор между витком червяка и зубом колеса в данной узловой точке. Если же рассечь оба элемента зацепления несколькими цилиндрами радиусом R_i и плоскостями B_i - получим поле зазоров, по которому судим о характере и месте контакта витка червяка и зуба колеса. Поля зазоров рассчитывались для четырех положений червяка (через 90 градусов) относительно червячного колеса. Максимальное количество зубьев в зацеплении определялось теоретически по углу обхвата. Поскольку в рассматриваемом зацеплении одновременно находилось от четырех до пяти зубьев колеса, было получено 17 полей первоначальных зазоров.

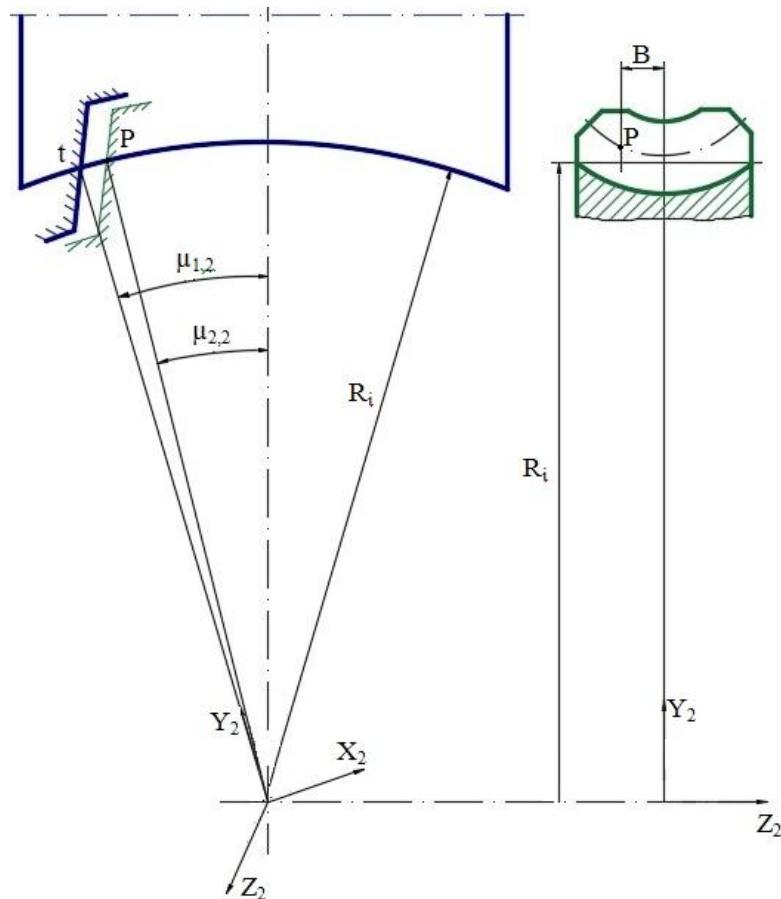


Рис.1 – Схема определения зазоров между элементами глобоидной пары

На рис.2 (1 – червяк, 2 - колесо) приведено одно из фиксированных положений червяка и колеса с соответствующими параметрами фаз зацепления μ_{im} до износа: $\mu_{1,2} = -675^\circ$, $\mu_{1,6} = -315^\circ$, $\mu_{1,10} = 45^\circ$, $\mu_{1,14} = 405^\circ$.

На втором этапе решаются задачи нахождения формы и положения площадок контакта неизнашивающихся сопряженных поверхностей, их числа для заданной величины внешнего момента и определения контактных давлений в расчетных точках. За расчетные точки принимаются узловые точки, находящиеся в пределах площадок контакта.

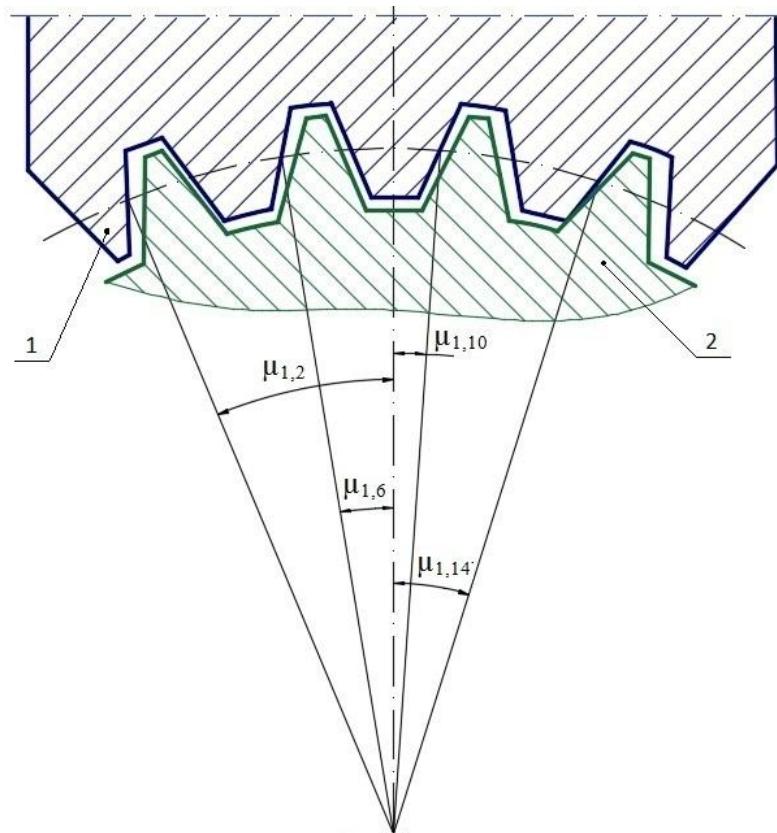


Рис.2 – Схема контакта элементов глобоидной пары

При этом учитывается деформация элементов передачи, в том числе контактные и изгибо-сдвиговые деформации зубьев колеса и витков червяка. В конце рассматриваемого этапа определяется новое положение колеса относительно червяка, для этого положения вычисляются зазоры в узловых точках сопряженных поверхностей, и корректируется матрица исходных зазоров.

Решение задач первого и второго этапа базируется на модернизированных итерационных алгоритмах, разработанных ранее [1] для оценки нагруженности глобоидного зацепления. Модернизация потребовалась для учета пластических деформаций, которые могут возникать в расчетных узловых точках.

Третий этап разработанного алгоритма предусматривает численное моделирование дискретизированного процесса износа зацепления. Для нахождения величин износа в узловых точках поверхностей зубьев колеса и витков червяка заданная длительность процесса функционирования зацепления делится на периодически повторяющиеся циклы, каждый из которых, в свою очередь, разделяется на целое число шагов износа. Предполагается, что в начале первого шага износа сопряженные поверхности не изношены, их относительное положение определяется результатами расчета на предыдущем этапе алгоритма. В соответствии с этим считаются известными координаты узловых точек и матрица зазоров для них, а также данные о том, какие именно из них являются расчетными и контактные давления в последних. Если считать, что аналогичная информация, учитывающая изменение всех факторов на предыдущих шагах износа, имеется в начале n-го шага, то величину износа Δh_{ij} в конце этого шага можно определить с помощью зависимостей (1) и (2).

$$\Delta h_{ij} = J_{ij} \Delta L_{ij} \quad (1)$$

где i, j - индексы, соответствующие положению контактной точки на поверхностях зуба колеса и витка червяка; ΔL_{ij} - путь трения для выбранной точки зуба колеса (витка червяка); J_{ij} - интенсивность износа материала зубьев колеса (витка червяка) на данном шаге расчета износа.

$$J_{ij} = K12 P_{ij} / HB \quad (2)$$

где P_{ij} - нормальное контактное давление в той же точке; HB - твердость материала зубьев колеса или витков червяка [2].

После определения матриц зазоров во всех фазах, для обеспечения контакта поверхности витка с зубьями колеса после текущей итерации по износу, необходимо было компенсировать увеличение зазоров за счет учета пластических деформаций и износа путем доворота колеса, величина которого определялась в следующей последовательности. Общая величина зазора в текущий момент времени в период приработки передачи без учета доворота колеса определялась по формуле:

$$\Delta_{mij} = W_{mij} + H_{1ij} + H_{2ij} + \delta_{pl}, \quad (3)$$

где W_{mij} - первоначальный зазор до износа сопряжения, мм;

H_{1ij}, H_{2ij} - накопленный износ витка червяка и зуба колеса в рассматриваемой узловой точке сетки, мм;

δ_{pl} - пластическая деформация, мм.

Угол доворота колеса находился в виде:

$$\Delta\varphi_{nij} = \Delta_{mij} / R_{ij} \quad (4)$$

где n - номер фиксированного положения червяка и колеса;

R_{ij} - радиус секущей окружности для рассматриваемой узловой точки сетки, мм.

Реальный зазор в узловой точке сетки в текущий момент наработка рассчитывался так:

$$\Delta_{mij} = (\Delta\varphi_{nij} - \Delta\varphi_{min}) R_{ij} \quad (5)$$

где $\Delta\varphi_{min}$ - минимальный угол доворота колеса, выбранный по величине $\Delta\varphi_{nij}$ для рассматриваемого фиксированного положения червяка и колеса.

Вновь полученная матрица зазоров являлась исходной для следующей итерации по расчету износа и характеризовала на данном временном шаге изменение геометрии.

Таким образом, решается задача изменения формы поверхностей зацепления в процессе работы глобоидной передачи.

Список литературы / References

1. Бондаренко А.В. Статическая нагруженность глобоидного зацепления с учетом особенностей формообразования, погрешностей изготовления, монтажа и податливости элементов передачи. : дис.... канд. тех. наук : 05.02.02 : защищена 12.06.87 : утв. 16.09.87 / Бондаренко Александр Васильевич. – Курган, 1987. – 353 с.

2. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания металлов. - М.: АН СССР, 1960. – 64 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bondarenko A.V. Staticeskaya nagruzhennost' globoidnogo zacepleniya s uchetom osobennostej formoobrazovaniya, pogreshnostej izgotovleniya, montazha i podatlivosti ehlementov peredachi [Static loading of globoid engagement with an account of peculiarities of forming, fabrication errors, installation and compliance of the transmission elements] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.02.02. : defense of the thesis 12.06.87: approved 16.09.87 / Bondarenko Aleksandr Vasil'evich. – Kurgan, 1997. – 220 p. [in Russian]

2. Khrushchov M.M., Babichev M.A. Issledovanie I znashivaniya metallov [Metal depreciation study] / M.M. Krushchov, M.A. Babichev. – M : AN SSSR, 1960. – 64 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.046

Головин Д.В.

Магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет
**ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БОЛИДА
«ФОРМУЛА СТУДЕНТ»**

Аннотация

Формула Студент – это международные инженерно-технические соревнования, данное движение активно популяризируется среди Российских ВУЗов. Работа посвящена описанию подхода по выбору эффективных технических решений при проектировании болида «Формула Студент ПНИПУ». Произведен отбор основных параметров эффективности технологических процессов и найдено их применение в проекте. Отражена связь и реализация основных принципов эффективности технологических процессов с процессом проектирования автомобиля.

Ключевые слова: эффективность, Формула Студент, ПНИПУ, технологический процесс, проектирование автомобиля.

Golovin D.V.

Undergraduate student, Perm National Research Polytechnic University

THE CHOICE OF EFFECTIVE TECHNICAL SOLUTION AT THE DESIGN OF PNRPU FORMULA STUDENT RACING CAR

Abstract

Formula Student is international engineering competition, this trend is actively popularized among Russian universities. The work is devoted to description of the approach to the choice of efficient technical solutions in the design of “Formula Student PNRPU” bolide. Produced selection of key parameters of efficiency of technological processes and their application found in the project. It addressed the implementation of the basic principles of efficiency of technological processes in the project.

Keywords: efficiency, Formula Student, PNRPU, technological process, car design.

«Формула Студент» это международные инженерно-технические соревнования, в которых студенты, представляющие свой университет в качестве спортивной команды, должны спроектировать и изготовить спортивный автомобиль в соответствии с регламентом. В последнее время данное движение активно популяризируется среди российских ВУЗов. Проект по созданию команды «Формула Студент» на базе Пермского национального исследовательского политехнического университета дает возможность студентам участникам команды реализовать на практике получаемые компетенции в процессе обучения и, как следствие, обрести опыт, что в совокупности говорит об актуальности данного проекта и проведения текущей работы в области менеджмента проекта.

К функциям менеджмента в команде можно отнести планирование, организацию, контроль, координацию работ, а также внутrikомандную мотивацию каждого участника. В совокупности реализация всех данных функций должна вести к повышению эффективности проводимых работ и достижению поставленной цели. По мнению одного из первых представителей теоретиков менеджмента Г. Эмерсона [1] эффективность является основной задачей управления. Существует множество определений для понятия термина эффективность [2], наиболее полную сущность данного понятия можно описать как способность выполнять какую-либо работу и достигать необходимого или желаемого результата с наименьшей затратой времени и усилий. В рамках текущего развития проекта «Формула Студент ПНИПУ» с учетом условий, сопряженных с ограниченностью во времени, финансированию, а также небольшим рабочим составом, в сравнении с ведущими зарубежными и отечественными командами, одной из приоритетных задач командного управления является принятие рациональных и эффективных решений в различных направлениях деятельности. Понятие эффективность можно применить к любому из аспектов деятельности команды.

Поскольку соревнования «Формула Студент» подразумевают под собой непосредственно состязательный процесс, то целью команды «Формула Студент ПНИПУ», как и любой другой, является победа. Соответственно, основываясь на цели проекта, ключевой задачей деятельности команды в первую очередь является проектирование спортивного автомобиля. Процесс проектирования автомобиля является довольно обширным, и его разделяют на ряд этапов: составление технического задания, создание общей компоновки, постройка необходимых макетов, изготовление рабочих чертежей, передаваемых в производство для разработки технологического процесса, сборка, испытание и доводка [3]. Данные этапы, безусловно, реализуются при проектировании первого болида команды «Формула Студент ПНИПУ».

Таким образом, техническая составляющая проекта в виде болида, как итогового продукта деятельности, играет основную роль и непосредственно отражает эффективность деятельности команды. В ходе процесса конструирования на этапе составления технического задания и принятия решений в выборе предпочтения того или иного решения в конструкции необходимо учитывать ряд факторов, которые в свою очередь, связаны с технологией изготовления, производительностью и итоговой стоимостью. Выбор рациональных и эффективных решений в конструкции болида с учетом влияния ключевых показателей проекта, технологий производства, располагаемых ресурсов и других сопряженных процессов играет существенную роль в повышении эффективности деятельности команды и реализуемости поставленной цели с сопутствующими ей задачами.

На данный момент команда приступила к процессу подготовки документации для производства компонентов шасси болида. Следующий этап является напрямую производственным процессом создания болида, поэтому в ходе проектирования и при выборе решений в конструкции необходимо учитывать факторы и параметры последующих технологических процессов.

В качестве основополагающих параметров технологических процессов выделяют: точность, стабильность, экономичность и производительность. В соответствии с действительными условиями развития проекта необходимо провести ранжирование данных показателей и их интерпретацию для текущего случая. Рассматривая и анализируя данный набор параметров в условиях реального развития проекта и наличия ряда ограничений можно сделать следующие заключения по отбору, ранжированию и реализации параметров технологических процессов.

Ключевым параметром является экономичность, так как на данном этапе, главным образом, имеются ограничения по бюджету. Исходя из этого при выборе технических решений в элементах конструкции предпочтение будет отдаваться менее дорогим технологиям изготовления деталей, применяемым материалам и компонентам. В качестве примера можно привести переход от конструкции деталей из алюминия, полученных путем механической обработки, в сторону разработки деталей из листовой стали, а именно: педальный узел, качалки амортизаторов, кронштейны и крепления рычагов подвески. Параметр экономичности оказывает большое влияние на процесс закупки компонентов, так как приходится выбирать альтернативные и наиболее выгодные с точки зрения экономичности варианты готовых компонентов. Также не малую роль в реализации данного параметра оказывает работа со спонсорами, имеются не только случаи с предоставлением скидок на покупку компонентов у поставщиков для развития студенческого проекта, но также и безвозмездная помощь в предоставлении материалов и оборудования для производства деталей. Применение САЕ систем при инженерных расчетах также позволяет сэкономить на проведение натурных испытаний разрабатываемых деталей. Помимо этого, реализация параметра экономичности проявляется за счет безвозмездного межкафедрального взаимодействия в рамках реализации проекта в ПНИПУ.

Вторым немаловажным параметром технологических процессов, который должен учитываться при проектировании в команде «Формула Студент ПНИПУ», является производительность. Это обусловлено, прежде всего, ограниченностью во времени подготовки к гоночному сезону, выходящей из требований регламента соревнований, которые подразумевает под собой ежегодную разработку нового болида для участия в ведущих мировых этапах. Таким образом, все процессы, связанные с работой в команде, должны быть максимально производительными. Реализации данного принципа в первую очередь достигается за счет применения полного комплекса программ САПР при разработке конструкции болида, инженерных расчетах деталей и подготовке документации для производства. В качестве CAD средства в проекте используется программа Solidworks 2015 Student Edition, позволяющая производить разработку конструкции болида. Для инженерного анализа и расчетов используется ряд САЕ программ, в частности для оценки и оптимизации крутильной жесткости рамы использовалось ПО Solidworks Simulation. Необходимость максимального повышения производительности технологических процессов изготовления, заставляет прибегать к автоматизированным средствам производства. За счет спонсорской поддержки удалось произвести раскрой труб для рамы на станке плазменной резки металла с ЧПУ. Написание управляющего кода осуществлялось в САМ программе Sheetcam TNG. Использование автоматизированного способа раскроя труб позволило снизить трудоемкость и повысить производительность данного технологического процесса.

В условиях ограниченности финансов и доступа к автоматизированному и высокоточному оборудованию достижение параметров точности будет происходить путем внедрения в конструкцию элементов регулировки, в конструкции рычагов подвески, и их креплений на раме заложены компенсирующие элементы, позволяющие точно произвести установку подвески. Помимо этого, будет осуществляться контроль параметров точности деталей после их изготовления.

Если рассматривать реализацию параметра стабильности в рамках данного проекта, то он более применим к серийным и массовым производственным процессам. Поскольку происходит единичное производство параметр стабильность не играет ключевой роли в технологических процессах связанных с изготовлением болида командой «Формула Студент ПНИПУ».

Резюмируя, можно сделать вывод, что процесс проектирования спортивного автомобиля класса «Формула Студент», безусловно, является объемным и взаимосвязанным, требующий взаимного учета ряда факторов на каждом из этапов для эффективного достижения поставленной цели и сопутствующих ей задач.

Список литературы / References

1. Эмерсон Г. Двенадцать принципов производительности. / Г. Эмерсон. – М.: Экономика, 1992. 224 с.
2. Евдокимова Т.В. Анализ генезиса теоретических подходов к понятию и оценке эффективности / Т.В. Евдокимова // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2013. – №3 (23).
3. Родионов В. Ф., Фиттерман Б.М. Проектирование легковых автомобилей. / В. Ф. Родионов, Б.М. Фиттерман. – М.: Машиностроение.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Jemerson G. Dvenadcat' principov proizvoditel'nosti. [Twelve principles of performance] / G. Jemerson – M.: Jekonomika, 1992. 224 s. [in Russian]
2. Evdokimova T.V. Analiz genezisa teoreticheskikh podhodov k ponjatiju i ocenke jeffektivnosti [An analysis of the genesis of the theoretical approaches to the concept and evaluation] / T.V. Evdokimova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika [Bulletin of the Tomsk State University. Economy]. – 2013. №3. – (23). [in Russian]
3. Rodionov V. F., Fitterman B.M. Proektirovaniye legkovykh avtomobilej. [Designing cars] / V. F. Rodionov, B.M. Fitterman - M.: Mashinostroenie. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.047

Головин Д.В.

Магистрант,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА КОМАНДЫ «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

Аннотация

При организации эффективной работы команды менеджмент и использование его инструментов играют одну из основных ролей. В работе описаны основные принципы при постановке целей и задач деятельности команды. К данным принципам отнесены: гибкость организационной структуры, определенность сроков выполнения с наличием ответственных исполнителей, конкретика качественных и количественных показателей эффективности, а также достижимость при заданных условиях. Определена организационная структура команды, на основании которой произведено распределение за должностями ряда функций, при этом ключевая роль отведена инженерам технического отдела.

Ключевые слова: Формула Студент, FSAE, студенческое объединение, менеджмент.

Golovin D.V.

Undergraduate student,

Perm National Research Polytechnic University

ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF "FORMULA STUDENT" TEAM

Abstract

This work is devoted to main aspects related with activities of Perm National Research Polytechnic University "Formula Student" team. Management and its instruments have one of key roles in the effective organization of the teamwork. Basic principles of aim and task setting are described in article, there are versatility of organizational structure, the uncertainty of the timing with executive persons, specifics of qualitative and quantitative efficiency indicators and achievable with the given conditions. Based on selected principles main management instruments are chose and described. On the assumption of team organizational structure a number of functions has been allocated for each post, herewith key role is given to engineers of technical department.

Keywords: Formula Student, FSAE, student association, management.

На сегодняшний день соревнования «Формула Студент» можно назвать по праву самым популярным и престижным видом инженерных состязаний среди студентов со всего мира, и оно не имеет подобных аналогов. Всего насчитывается более 500 команд [1], что подтверждает престижность, популярность и в целом мировой масштаб данного движения. В России данное движение начало активно набирать обороты с 2014 года, на данный момент в мировом рейтинге числится всего 7 команд ведущих технических ВУЗов страны, в их числе МАМИ, МАДИ, МГТУ им. Баумана. Фактически же по итогам IV Всероссийского Форума «Студенческие Инженерные Проекты», проходившей в феврале 2016 года в МАДИ, на данный момент в России насчитывается 27 команд [2].

Вопросы, затрагивающие менеджмент и организацию деятельности команды, являются достаточно актуальными [3], особенно на начальном этапе в процессе формирования основного состава команды.

Важная роль в управлении командой отводится постановке целей и задач. В основу формирования целей и задач было принято решение заложить ряд основных принципов, в которые входят:

- гибкость организационной структуры;
- определенность сроков выполнения и назначение ответственных исполнителей;
- определенность и конкретика качественных и количественных показателей эффективности, их совместимость и приемлемость, а также их соотнесение и встраиваемость в существующую систему, применяемую на международных соревнованиях серии «Формула Студент»
- достижимость при заданных возможностях с учетом возможных рискообразующих факторов.

Целью команды Формула Студент является победа в соревнованиях и результатом деятельности команды является спортивный автомобиль, и соответственно вся деятельность команды должна быть направлена на разработку конструкции данного автомобиля, его изготовление, настройку и подготовку к участию в соревнованиях. Исходя из этого основным отделом команды является технический отдел.

Поскольку поставленная цель деятельности команды является достаточно объемной и многозадачной все вышеперечисленные принципы должны формально и задокументировано проявляться при работе команды в виде утвержденной организационной структуры, плана-графика работы команды, выбранных целевых показателей деятельности и ряда доступных ресурсов.

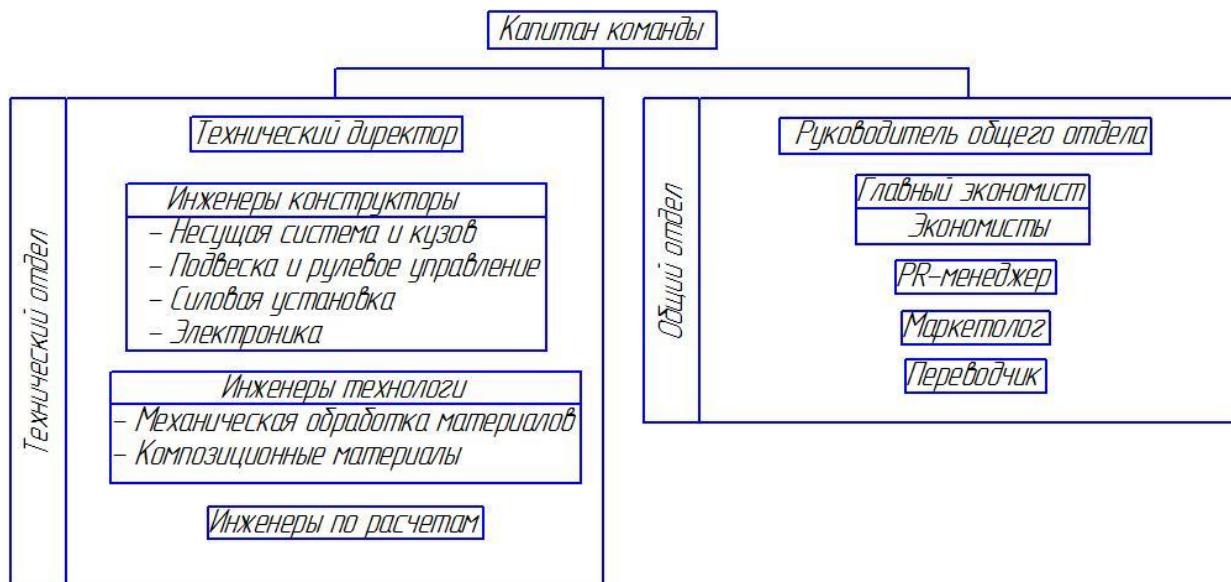


Рис. 1 – Организационная структура команды «Формула Студент» ПНИПУ

В первую очередь команда будет представлять Пермский национальный исследовательский университет на международных соревнованиях «Формула Студент», поэтому необходимо определиться с положением и юридическим закреплением статуса команды внутри университета. При этом важно понимать, что команда «Формула Студент» это, прежде всего, студенческое объединение, работа в котором основана только на личном энтузиазме участников. Деятельность команды, главным образом, связана с конструированием спортивного автомобиля [7, 8], поэтому, из существующих юридических форм организации деятельности студенческих объединений в ПНИПУ, для команды «Формула Студент» лучше всего подходит статус студенческого конструкторского бюро (СКБ). Выбор данной формы закрепления статуса команды обусловлен наличием утвержденной формы положения о создании СКБ, а также коррелированием по виду деятельности.

Для повышения показателей эффективности работы необходимо создать и утвердить гибкую организационную структуру внутри команды с распределением должностей и закрепленных за ними рядом обязанностей.

На рисунке 1 представлена схема организационной структуры команды «Формула Студент ПНИПУ». Согласно данной схеме и исходя из специализации направлений деятельности команды было принято решение выделить два отдела, с соответствующими их роду деятельности функциями.

Согласно выбранной структуре необходимо закрепить функциональные обязанности участников команды в соответствии с занимаемой должностью. Для наглядности в таблице 1 представлены распределенные за должностями функции участников в команде.

В основе выбранной структуры команды заложен принцип единоличия и делегирования ряда полномочий. Капитану команды отводится главенствующая роль в составе команды, и соответственно одной из ключевых функций, для данной должности является формирование целей и задач команды, а также формирование технического задания на разработку болида.

Ответственными за работу отделов являются руководитель общего отдела и технический директор. К обязанностям данных должностных лиц отводятся главным образом контролирующие и распорядительные функции, такие как формирование плана-графика работ отдела, контроль за выполнением работ, постановка задач по работе отдела, координация работ внутри отделов.

Таблица 1 – Распределение функций в команде

Должность	Функции
Капитан команды	Постановка целей и задач команды, составление технического задания для болида, контроль выполнения работ и плана графика, внесение корректировок, работа со спонсорами
Общий отдел	Координация работ внутри общего отдела, формирование плана проведения мероприятий, организация мероприятий, контроль выполнения плана мероприятий отдела, привлечение людей в команду, работа со спонсорами
	Продвижение команды, организация и проведение мероприятий, работа со спонсорами, взаимодействие с другими командами, поиск конкурсов для участия.
	Организация закупок и их контроль, ведение документации, подготовка отчета о стоимости, подготовка бизнес-плана
	Подготовка отчета о стоимости, подготовка бизнес-плана
	Исследование рынка, подготовка бизнес плана
Переводчик	Помощь во взаимодействии с зарубежными командами. Подготовка материалов cost report, design report, business logic case, business-plan.

Окончание табл. 1 – Распределение функций в команде

Должность	Функции
Технический отдел	Координация работ внутри технического отдела, формирование плана-графика работ отдела, контроль выполнения работ и плана графика, постановка задач по работе отдела
	Разработка конструкции элементов одной из систем автомобиля: Подготовка технической документации для производства элементов конструкции. Участие в сборке и тестах болида.
	Разработка технологии производства элементов конструкции автомобиля путем механической обработки изделий из металла, а также изделий из композиционных материалов, подготовка рабочей технической документации для производства, производство разработанных элементов конструкции, участие в сборке болида.
	Расчет разработанных элементов конструкции (прочностной расчет, расчет газодинамики), формирование рекомендаций по оптимизации элементов конструкции.

Безусловно, основным составляющим команды является группа инженеров. Поскольку ПНИПУ является многопрофильным учебным заведением, то и специализацию работы инженеров необходимо производить исходя из направления обучения, т.е. конструкторы, технологи, инженеры по расчету элементов конструкции. В свою очередь данный подход дает ряд неоспоримых преимуществ, так как способствует развитию у студентов навыков работы в коллективе-команде, получение теоретических знаний и прикладных навыков. Также проект команды «Формула Студент» позволит проводить межкафедральное взаимодействие, путем привлечения студентов различного профиля, что благоприятно сказывается на горизонтальной интеграции внутри ПНИПУ.

По опыту работы в проекте было определено, что наиболее эффективным методом является привлечение к участию в команде студентов 3-4 курса, предлагая им выполнение ряда задач в качестве альтернативы курсовым проектам и работам, безусловно, не в разрез с тематикой и компетенциями учебных дисциплин. Данная практика нашла эффективное применение при подготовки курсовых работ студентов 3 курса кафедры «Автомобили и технологические машины» Автодорожного факультета ПНИПУ по дисциплине «Шасси автомобиля. Элементы расчета и эксплуатационная надежность».

В результате проведенной работы были выделены основные аспекты, связанные с организацией деятельностью команды «Формула Студент», прежде всего это планирование официального закрепления статуса команды в ПНИПУ за счет формирования межкафедрального студенческого конструкторского бюро. Также произведено утверждение организационной структуры команды с закрепление функций за должностными лицами.

Список литературы / References

1. Formula Student - World Ranking Lists [Электронный ресурс] – URL: <http://mazur-events.de/fs-world/> (дата обращения: 10.12.2016).
- 2 IV Всероссийский Форум «Студенческие Инженерные Проекты». Зарегистрированные команды [Электронный ресурс]. – URL: <http://конференция-мади.рф/index.php/zareestrirovannye-komandy> (дата обращения: 10.12.2016).
- 3.Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2007. — С. 672.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Formula Student - World Ranking Lists [Electronic resource] – URL: <http://mazur-events.de/fs-world/> (accessed: 10.12.2016).
2. IV Vserossijskij Forum «Studencheskie Inzhenernye Proekty». Zaregistrirovannye komandy [IV All-Russian Forum "Student Engineering Projects". Registered teams] [Electronic resource]. – URL: <http://конференция-мади.рф/index.php/zareestrirovannye-komandy> (accessed: 10.12.2016). [in Russian]
3. Meskon M., Albert M., Hedouri F. Osnovy menedzhmenta. [Fundamentals of Management] / M. Meskon, M. Albert, F. Hedouri — 3-e izd. — M.: Vil'jams, 2007. — S. 672. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.064

Головин В.О.¹; Копкин Е.Г.²; Сучков В.П.³¹Магистрант, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,²Магистрант, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,³Доктор технических наук, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет**РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ ШЛАМОВ ПВХ****Аннотация**

Цель данной работы - определение технологических свойств шламов производства ПВХ, анализ возможности использования их в строительных материалах в качестве компонентов для формовочных смесей на основе гипса. Использование отходов крайне актуально с точки зрения организации производства, так как позволяет существенно снизить затраты на сырьевые материалы и частично решить проблему утилизации. Это также выгодно выделяет предприятие в вопросе защиты окружающей среды.

Включение шлама в состав формовочной смеси для производства строительных материалов (в частности гипсовых плит-перегородок) позволяет существенно снизить расход вяжущего вещества. При этом изделия полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 6428-83. «Плиты гипсовые для перегородок. Технические условия». Использование шламов производства ПВХ безопасно для здоровья человека и для окружающей среды.

Ключевые слова: отходы, переработка, шлам, ПВХ, гипс, экономия.

Golovin V.O.¹; Kopkin E.G.²; Suchkov V.P.³^{1,2}Undergraduate student, ³PhD in Engineering, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering**EXPANSION OF RESOURCES BASED BUILDING MATERIALS DUE TO SLUDGE PVC****Abstract**

The purpose of this work is to define technological properties of PVC sludge production and analyze the possibility of their use in the building materials as components for molding compounds based on gypsum. The use of waste is extremely important from the point of view of the organization of production, as it can significantly reduce the cost of raw materials and partially solve the problem of disposal. This is also what sets the company in environmental issues.

The inclusion of the slurry of the moldable mixture into the building materials production (in particular gypsum boards and walls) can significantly reduce the flow of binder. This product fully meet the requirements of GOST 6428-83. Using the sludge production of PVC is safe for human health and the environment.

Keywords: waste, recycling, sludge, PVC, plaster, savings.

Введение

Значительное количество технологий по производству инновационных материалов сопровождается образованием значительного количества отходов (шламов). К этому, например, относится производство ПВХ и материалов на его основе. Наиболее энергоёмким направлением использования отходов является строительная индустрия, в частности производство строительных материалов. Использование отходов позволяет минимизировать затраты на утилизацию, улучшить среду обитания человека, сократить расходы минерального природного сырья. Наши исследования возможности использования шламов ПВХ для производства строительных изделий. В качестве вяжущего применяется гипсовое, как имеющее короткие сроки схватывания. Это позволяет сократить время производства изделий, увеличить производительность предприятия. С этой целью определены технологические свойства шламов, которые приведены ниже. В качестве шламов исследованы следующие виды шламов: шлам установки электролиза и шлам ПВХ.

1. Определение нормальной густоты смеси шламов и гипсового вяжущего.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23789-79«Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Результаты определения нормальной густоты гипсового теста приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение нормальной густоты

Номер опыта	Гипс, г.	Вода, мл.	В/Г	Расплыв, мм
1	400	240	0,600	290
2	400	180	0,450	135
3	400	200	0,50	190
4	400	188	0,470	173
5	400	195	0,487	182

Нормальная густота гипсового теста составила 48,7%

Определение нормальной густоты смеси из гипсового вяжущего и шламов.

Таблица 2 – определение нормальной густоты смеси гипса и шлама установки электролиза

Номер опыта	Гипс, г.	Шлам, г.	Вода, мл.	В/Г	Расплыв, мм.
1	200	200	200	0,500	125
2	200	200	220	0,550	190
3	200	200	215	0,537	177

Нормальная густота составила 53,7%

Таблица 3 – Определение нормальной густоты смеси гипса и шлама установки ПВХ.

Номер опыта	Гипс, г.	Шлам, г.	Вода, мл.	В/Т	Расплыв, мм.
1	200	200	200	0,500	125
2	200	200	260	0,650	155
3	200	200	290	0,725	180

Нормальная густота составила 72,5%

2. Определение сроков схватывания смеси шламов и гипсового вяжущего.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Результаты определения сроков схватывания приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Сроки схватывания смесей

	Гипс	Гипс и шлам элек.	Гипс и шлам ПВХ
Начало схватывания	12мин 30сек	4мин 30сек	10мин 20сек
Конец схватывания	17мин 15сек	6мин	17мин

Введение шлама установки электролиза сокращает сроки схватывания смеси примерно в 3 раза.

Введение шлама ПВХ в формовочную смесь приводит к сокращению начала схватывания, при неизменном окончании схватывания.

3. Определение прочности образцов – кубиков из смеси шлама и гипсового вяжущего.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубики с ребром 20,7 мм, они были испытаны через 6 часов естественного хранения и после полного высыхания. В таблице 5 приведены средние значения испытаний 3-х образцов.

Таблица 5 – Прочность образцов

Номер образца	Прочность, МПа					
	Гипс /бч./	Гипс /сух./	Гипс и шлам эл./бч./	Гипс и шлам элек. /сух./	Гипс и шлам ПВХ /бч./	Гипс и шлам ПВХ /сух./
1	5,79	5,54	0,51	0,68	1,08	1,14
2	6,11	7,66	0,46	0,59	1,01	1,16
3	6,42	9,81	0,41	0,5	0,92	1,17
Среднее значение	6,1	7,67	0,46	0,59	1,0	1,16

4. Подготовка формовочных смесей.

В исследованиях использованы два вида подготовки формовочных смесей:

1. Применение шламов с заводской влажностью.
2. Высушенных и измельченных шламов.

С этой целью шламы, отобранные на производстве, оформлены актом отбора проб, герметично упакованы и доставлены в лабораторию.

В связи с изменчивостью влажности шламов, изменением их агрегатного состояния в процессе хранения, их использование непосредственно после фильтр-пресса не позволяет получить формовочную смесь стабильного состава с заданным режимом формования.

По этой причине возникла необходимость усреднения свойств шламов, а именно их предварительной сушки до постоянной массы при температуре 60-80°C с последующим измельчением в шаровой мельнице и просеиванием до полного прохода через сито 0,63 мм.

5. Методика и результаты испытаний образцов.

Результаты испытаний на прочность образцов – балочек из смесей со шламами на основе гипса приведены ниже.

Балочки размером 160x40x40мм изготовлены из смесей со шламами ПВХ и установки электролиза на основе гипса. После заполнения формы были провибрированы на виброплатформе в течение 10-15 с. Время вибрации установлено экспериментально, исходя из условий получения образцом однородной структуры и контролировалось по началу водоотделения.

Испытания образцов на основе гипсового вяжущего проводились в соответствии с ГОСТ 23789 – 79. «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.»

Образцы со шламом установки электролиза на основе гипсового вяжущего вибрированию на виброплатформе не подвергались, так как введение шлама в состав смеси ускоряет ее схватывание.

Таблица 6 – Прочность образцов на основе гипса в возрасте 1 суток.

Шлам уст.электролиза, % от гипса			Шлам ПВХ, % от гипса		
	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа		R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа
10%	2,78	6,44	10%	2,70	7,04
30%	0,99	1,76	30%	1,45	3,40
50%	0,49	0,88	50%	1,18	2,52

Таблица 7 – Прочность образцов на основе гипса после полного высыхания.

Шлам уст.электролиза			Шлам ПВХ		
№обр.	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа	№обр.	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа
10% шлама от массы гипса					
1	6,68	14,92	1	6,73	14,96
2	3,78	15,04	2	6,54	14,48
3	5,09	13,04	3	-	14,88
4	-	12,96	4	-	15,88
30% шлама от массы гипса					
1	1,26	2,80	1	3,23	7,22
2	1,10	2,48	2	3,55	7,60
3	-	2,40	3	-	7,36
4	-	2,32	4	-	6,56
50% шлама от массы гипса					
1	0,67	1,12	1	2,30	5,64
2	0,64	1,08	2	2,19	5,40
3	-	0,96	3	-	5,40
4	-	1,08	4	-	4,88

Полученные результаты соответствуют требованиям для изделий гипсовых плит-перегородок, что послужило основанием для разработки проекта ТУ и изготовления контрольного изделия.

6. Изготовление опытного образца изделия, соответствующего требованиям технических условий и рекомендованного к внедрению.

С целью практической реализации выполненных исследований в лабораторных условиях изготовлен образец изделия, рекомендованного к внедрению. С этой целью подобран состав формовочной смеси для изготовления фрагмента плиты для устройства межкомнатных перегородок.

Таблица 8 – Рекомендованные составы смесей на основе гипсового вяжущего с использованием шлама ПВХ

Компонент смеси	Содержание в смеси, г. (%)		
Гипс	1000	1000	1000
Шлам	100(10)	300(30)	500(50)
Вода	530(48)	715(55)	865(58)

Содержание шлама дано в процентах от массы вяжущего, содержание воды – в процентах от массы твердого вещества.

Заключение:

1. Результаты исследований свидетельствуют о возможности использования шлама химической очистки сточных вод ПВХ в качестве сырья для производства строительных материалов.

2. Формовочные смеси на основе шлама от химической очистки сточных вод ПВХ рекомендуется готовить с использованием в качестве вяжущего гипс, что позволяет получить смесь с максимально возможным содержанием шлама.

3. С позиции максимального использования шлама, снижения энергозатрат при реализации технологии производства и расхода вяжущего рекомендован способ вибровиформования изделий.

4. На основании исследований и комплекса экспериментальных испытаний разработано техническое условие на производство плит для устройства перегородок на основе шлама от химической очистки сточных вод ПВХ.

5. Разработанные нормативные документы и результаты экспериментальных исследований являются базой для проектирования технологической линии под конкретного Заказчика.

Список литературы / References

- ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний

Список литературы на английском языке / References in English

- GOST 23789-79. Vjazhushchie gipsovye. Metody ispytaniij [GOST 23789-79. Cementing plaster. Test methods] [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.015

Григорьев А.В.

ORCID: 0000-0001-7429-3174, Кандидат технических наук,

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Работа выполнена при поддержке Российской фонда фундаментальных исследований

(грант № 16-38-00929 мол_а)

ОБОБЩЕННЫЕ ВАРИАНТЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОФАЗНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Аннотация

Приведена модель многофазной электрической машины с произвольным числом фазных обмоток статора и ротора в форме пространства состояний. Предложенная модель позволяет исследовать несимметричные режимы работы многофазной электрической машины, что является достоинством в сравнении с моделью на основе симметричных составляющих. На основе модели в форме пространства состояний выполнен синтез оптимальных управляющих устройств в смысле быстродействия электроприводом на базе многофазной электрической машины и многофазного мостового инвертора напряжения при помощи принципа максимума Л.С. Понtryagina. Синтезированные конструкции оптимальных управляющих устройств позволяют простыми преобразованиями получить правила формирования управляющих воздействий с целью стабилизации любой переменной электропривода, зависящей от потокосцеплений фазных обмоток двигателя.

Ключевые слова: многофазный электродвигатель, обобщенные конструкции, оптимальное управление, принцип максимума Л.С. Понtryagina.

Grigorev A.V.

ORCID: 0000-0001-7429-3174, PhD in Engineering,

Kuzbass State Technical University of T.F. Gorbachev

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant № 16-38-00929 mol_a)

GENERIC OPTIONS OF MANAGING MULTI-PHASE ELECTRIC MACHINE WITH AC

Abstract

A model of multi-phase electric machine with a random number of phase windings of the stator and rotor in the form of space states is provided. Proposed model allows us to investigate asymmetric working modes of a multi-phase electric machine, which is an advantage in comparison with the model based on symmetrical components. We conducted synthesis of optimal control devices on the basis of the model in state space form in terms of the performance of electric poly-phase based on electric machines and a multi-phase bridge voltage inverter by means of the maximum principle of L.S.Pontryagin. Synthesized design of optimal control devices allows obtaining rules for the control actions by means of simple transformations in order to stabilize electric variables that depend on the flux linkage in phase motor winding.

Keywords: multiphase electric motor, generalized expressions, optimal control, maximum principle of L.S. Pontryagin.

Вопросами управления электроприводами на базе многофазных электрических машин переменного тока занимается много авторов. Основным направлением является адаптация методов управления, полученных для обобщенной электрической машины (векторные способы управления [2, С. 1178], варианты прямого управления моментом [4, С. 1] и другие [3, С. 13]), к многофазной машине переменного тока при помощи фазных преобразований. Ряд авторов обращает свое внимание на получение общих принципов адаптации известных способов управления к многофазной электрической машине, например, в работе [1, С. 570] представлены общие принципы адаптации способов векторного управления к шестифазным электрическим машинам с двумя обмотками статора (Dual Six-Phase Motor). В работе [4, С. 4] получена обобщенная таблица оптимальных переключений ключей инвертора для варианта управления DTC применительно к многофазной электрической машине, не учитывающая, однако, величину отклонения текущих значений электромагнитного момента и потокосцепления статора. Таким образом, проблема получения обобщенных вариантов управления многофазными электрическими машинами с произвольным числом фазных обмоток является актуальной.

Принципиальная электрическая схема многофазной электрической машины с числом фазных обмоток на статоре и роторе, равном n , показана на рис. 1.

В работах [5, С. 62], [6, С. 40], [7, С. 155] приводится процедура синтеза оптимальных управляющих устройств для обобщенной электрической машины и трехфазной асинхронной электрической машины, получающих питание от автономных инверторов напряжения.

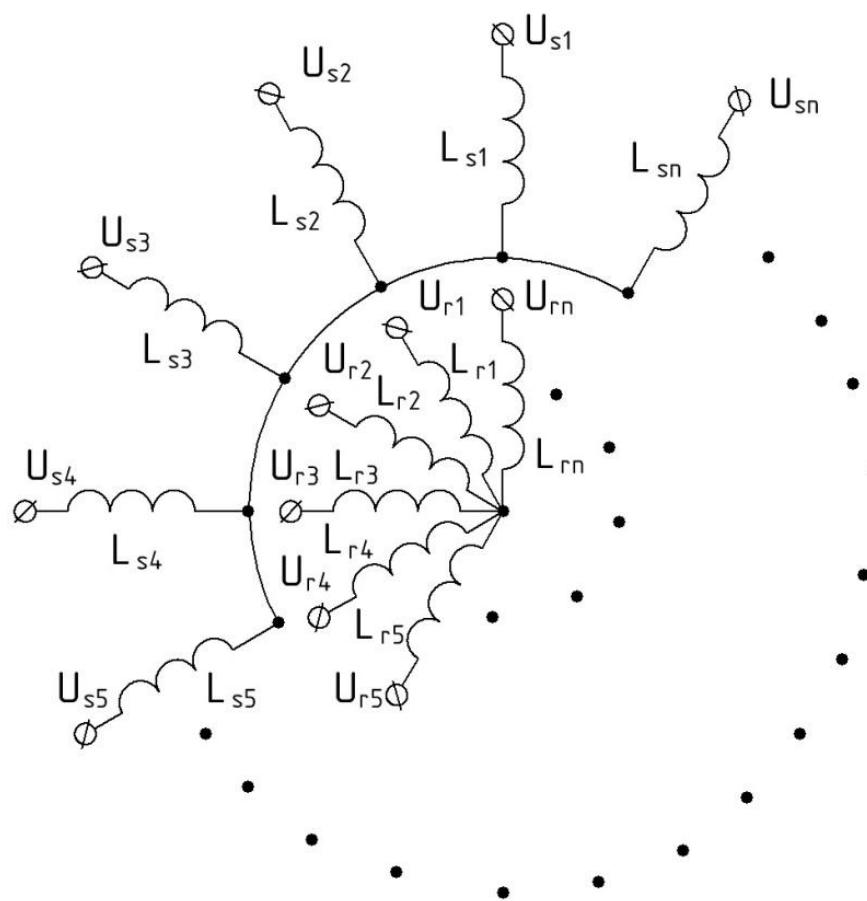


Рис. 1 – Принципиальная электрическая схема многофазной электрической машины:
 $L_{s1..n}$, $L_{r1..n}$ – индуктивности обмоток статора и ротора;
 $U_{s1..n}$, $U_{r1..n}$ – фазные напряжения, подаваемые на обмотки статора и ротора

Для применения данной процедуры к синтезу управляющих устройств многофазной электрической машины, получающей питание от автономного многофазного инвертора напряжения, необходимо представить математическую модель многофазной машины в форме пространства состояний. В качестве координат фазового пространства удобно взять потокосцепления фазных обмоток статора и ротора. Тогда обобщенная модель многофазной симметричной электрической машины может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_{s1}}{dt} &= U_{s1} - R_{s1}i_{s1} + \frac{2}{n}\omega_0 \sum_{i=1}^n \Psi_{si} \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{n}\right), \\ \frac{d\Psi_{s2}}{dt} &= U_{s2} - R_{s2}i_{s2} + \frac{2}{n}\omega_0 \sum_{i=1}^n \Psi_{si} \sin\left(\frac{2\pi(i-2)}{n}\right), \\ &\dots \\ \frac{d\Psi_{sn}}{dt} &= U_{sn} - R_{sn}i_{sn} + \frac{2}{n}\omega_0 \sum_{i=1}^n \Psi_{si} \sin\left(\frac{2\pi(i-n)}{n}\right),\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Psi_{r1}}{dt} &= U_{r1} - R_{r1}i_{r1} + \frac{2}{n}(\omega_0 - p\omega)\sum_{i=1}^n \Psi_{ri} \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{n}\right), \\
 \frac{d\Psi_{r2}}{dt} &= U_{r2} - R_{r2}i_{r2} + \frac{2}{n}(\omega_0 - p\omega)\sum_{i=1}^n \Psi_{ri} \sin\left(\frac{2\pi(i-2)}{n}\right), \\
 &\dots \\
 \frac{d\Psi_{rn}}{dt} &= U_{rn} - R_{rn}i_{rn} + \frac{2}{n}(\omega_0 - p\omega)\sum_{i=1}^n \Psi_{ri} \sin\left(\frac{2\pi(i-n)}{n}\right), \\
 i_{si} &= \frac{\left(L_{rl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}\right)}{L_{sl}L_{rl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}(L_{rl} + L_{sl})} \Psi_{si} - \frac{\frac{n}{2}M^{sr}_{\max}}{L_{sl}L_{rl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}(L_{rl} + L_{sl})} \Psi_{ri}, \\
 i_{ri} &= \frac{\left(L_{sl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}\right)}{L_{sl}L_{rl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}(L_{rl} + L_{sl})} \Psi_{ri} - \frac{\frac{n}{2}M^{sr}_{\max}}{L_{sl}L_{rl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}(L_{rl} + L_{sl})} \Psi_{si}, \\
 M &= \frac{pM^{sr}_{\max}}{L_{sl}L_{rl} + \frac{n}{2}M^{sr}_{\max}(L_{rl} + L_{sl})} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\sin\left(\frac{2(j-i)\pi}{n}\right) \Psi_{si} \Psi_{rj} \right],
 \end{aligned} \tag{1}$$

где n – число фаз статора и ротора; p – число пар полюсов обмоток статора и ротора; ω_0 – круговая частота вращения системы координат, в которой представлены координаты фазового пространства; ω – круговая частота вращения ротора электродвигателя; Ψ_{si} , Ψ_{ri} – потокосцепления i -ых фазных обмоток статора и ротора; i_{si} , i_{ri} – токи i -ых фазных обмоток статора и ротора; R_{si} , R_{ri} – активные сопротивления i -ых фазных обмоток статора и ротора; L_{sl} , L_{rl} – индуктивности рассеяния фазных обмоток статора и ротора; M^{sr}_{\max} – максимальное значение взаимной индуктивности между обмотками статора и ротора; M – электромагнитный момент двигателя.

Указанная модель (1) получена при следующих допущениях: обмотки статора и ротора представляют собой токовые слои, уложенные равномерно на поверхностях статора и ротора, а магнитодвижущие силы, создаваемые этими токовыми слоями, распределены по окружности статора и ротора по косинусоидальному закону; зазор машины равномерен; сталь машины не насыщается, и в машине отсутствуют магнитные потери; индуктивности рассеяния фазных обмоток равны и постоянны; максимальные взаимные индуктивности любой пары фазных обмоток равны M^{sr}_{\max} .

Решение задачи управления можно получить при помощи принципа максимума Л.С. Понtryagina [8, С. 235]. Цель задачи синтеза управления представим в следующем виде:

$$\int_0^T f^0(\Psi_s, \Psi_r, \mathbf{Y}^*, \mathbf{Y}, t) dt \rightarrow \min,$$

где $f^0(\Psi_s, \Psi_r, \mathbf{Y}^*, \mathbf{Y}, t)$ – целевая функция; \mathbf{Y} , \mathbf{Y}^* – векторы текущих и заданных значений фазовых координат или значений функций от фазовых координат; Ψ_s , Ψ_r – векторы потокосцеплений фазных обмоток статора и ротора.

Для достижения поставленной цели необходимо сформировать следующую вспомогательную функцию:

$$\begin{aligned}
 H(\Psi_s, \Psi_r, \mathbf{U}_s, \mathbf{U}_r, \mathbf{Y}^*, \mathbf{Y}, t) &= \sum_{i=1}^n \psi_i(t) \left(U_{si} - R_{si}i_{si} + \frac{2}{n}\omega_0 \sum_{j=1}^n \Psi_{sj} \sin\left(\frac{2\pi(j-i)}{n}\right) \right) + \\
 &+ \sum_{i=1}^n \psi_{(i+n)}(t) \left(U_{ri} - R_{ri}i_{ri} + \frac{2}{n}(\omega_0 - p\omega) \sum_{j=1}^n \Psi_{rj} \sin\left(\frac{2\pi(j-i)}{n}\right) \right) + \\
 &+ \psi_0 f^0(\Psi_s, \Psi_r, \mathbf{Y}^*, \mathbf{Y}, t),
 \end{aligned}$$

где ψ_i – i -ая составляющая вектор-функции $\psi(t)$.

Для определения компонент вектор-функции $\psi(t)$ необходимо решить следующую сопряженную систему уравнений:

$$\left\{ \frac{d\psi_i(t)}{dt} = -\frac{\partial H(\Psi_s, \Psi_r, \mathbf{U}_s, \mathbf{U}_r, \mathbf{Y}^*, \mathbf{Y}, t)}{\partial \Psi_{si}} \right\} : i \in \overline{1, n}.$$

Решение представленной системы уравнений совместно с системой уравнений (1) представляется довольно громоздким и требует задания начальных условий (для задач электропривода это невыполнимо), поэтому

дополнительно необходимо еще использовать условия трансверсальности [8, С. 327]: вектор-функция ψ должна быть ортогональна всем возможным векторам в гиперплоскости, касательной к начальному и конечному многообразию. Это означает, что вектор ψ является нормалью указанной гиперплоскости и задается выражением:

$$\psi = \text{grad}(\varphi(\mathbf{x})) \Big|_{\substack{t=0 \\ t=T}}$$

где $\varphi(\mathbf{x})$ – функция вектора фазовых координат \mathbf{x} , задающая гиперповерхность.

Поскольку в данной работе рассматривается задача перевода объекта из состояния \mathbf{x}_0 , при котором $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_0$ в состояние \mathbf{x}_1 , при котором $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}^*$, то начальное и конечное многообразия задаются не системой уравнений (1), а целевой функцией f^0 . Отсюда следует, что компоненты вектор-функции ψ определяются при помощи следующих более простых соотношений:

$$\psi_i = -\frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{si}}, \psi_{(i+n)} = -\frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{ri}}, i \in \overline{1, n}.$$

Условие максимума функции H приводит к необходимости выполнения следующих требований к управляющим воздействиям для того, чтобы процесс был оптимальным в смысле быстродействия:

$$\sum_{i=1}^n \psi_i(t) U_{si} + \sum_{i=1}^n \psi_{(i+n)}(t) U_{ri} \equiv \max. \quad (2)$$

Если управляющие воздействия не зависят от времени, то условие (2) выполняется при выполнении следующих условий:

$$\begin{aligned} \psi_i(t) U_{si} &\equiv \max, \\ \psi_{(i+n)}(t) U_{ri} &\equiv \max, \quad i \in \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (3)$$

Следует отметить, что в электроприводе зачастую используют мостовой инвертор напряжения, на выходе которого формируются фазные напряжения, зависящие от состояния каждого силового ключа (см. рис. 2). Если обозначить через S_i – состояния ключей инвертора, где $S_i = 1$ соответствует открытому верхнему ключу (VT1, VT3.. VT(n-1)) полумоста инвертора, а $S_i = 0$ соответствует открытому нижнему ключу (VT2, VT4.. VTn) полумоста инвертора, то фазные напряжения, формируемые инвертором, можно кратко записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} U_{si}^s &= \frac{2U_{DC}}{n} \sum_{j=1}^n S_j^s \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right), \\ U_{ri}^r &= \frac{2U_{DC}}{n} \sum_{j=1}^n S_j^r \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right), \end{aligned}$$

где индексы s , r – означают принадлежность к питающим цепям статора и ротора, соответственно; U_{DC} – напряжение шины постоянного тока мостового инвертора.

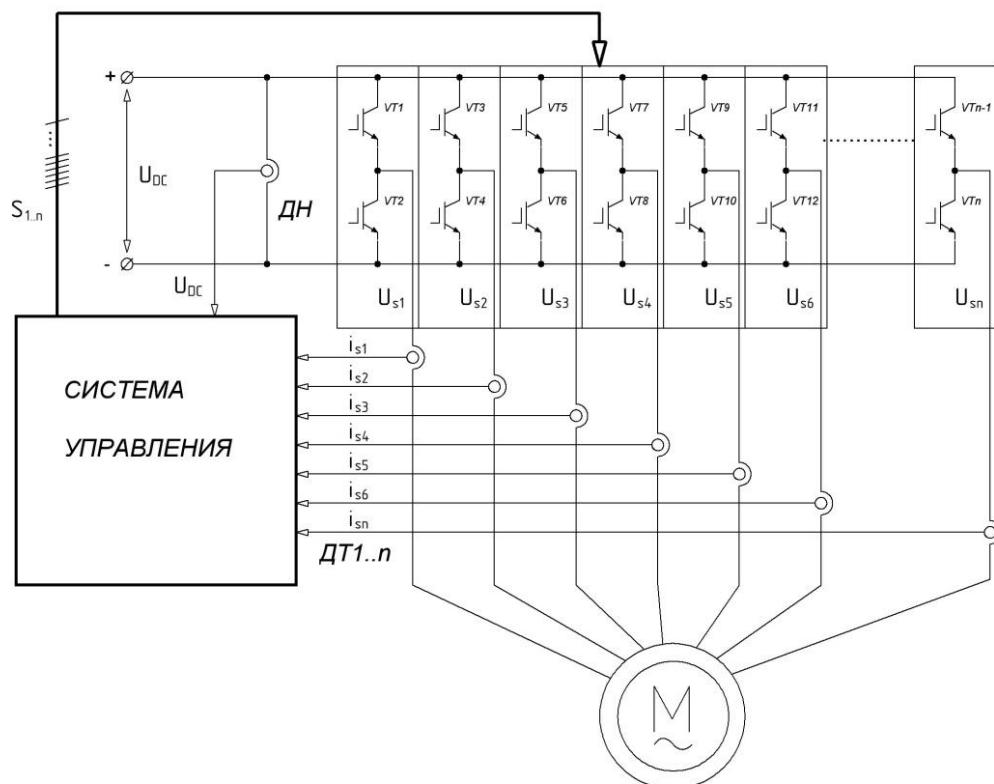


Рис. 2 – Многофазный инвертор, подключенный к многофазной электрической машине

Из выражений (4) следует, что управляющие воздействия, подаваемые на фазные обмотки статора, зависят друг от друга, а значит, для определения алгоритма формирования управляющих воздействий, можно применять только более сильное условие (2).

Подставив выражения (4) в условие (2), получим следующие условия, на базе которых можно получить алгоритм формирования управляющих воздействий:

$$\begin{aligned} -\frac{2U_{DC}^s}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{si}} \sum_{j=1}^n S_j^s \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right) \right] &\equiv \max, \\ -\frac{2U_{DC}^r}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{ri}} \sum_{j=1}^n S_j^r \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right) \right] &\equiv \max. \end{aligned} \quad (5)$$

Условия (5) эквивалентны следующим условиям:

$$\begin{aligned} -\frac{2U_{DC}^s}{n} \sum_{i=1}^n \left[S_i^s \sum_{j=1}^n \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{sj}} \cos\left(\frac{2\pi(j-i)}{n}\right) \right] &\equiv \max, \\ -\frac{2U_{DC}^r}{n} \sum_{i=1}^n \left[S_i^r \sum_{j=1}^n \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{rj}} \cos\left(\frac{2\pi(j-i)}{n}\right) \right] &\equiv \max. \end{aligned} \quad (6)$$

Из условий (6) следует обобщенный алгоритм формирования управляющих воздействий на мостовые инверторы напряжения, питающие многофазную электрическую машину:

$$S_i^s = \begin{cases} 1, \sum_{j=1}^n \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{sj}} \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right) \leq 0, \\ 0, \sum_{j=1}^n \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{sj}} \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right) > 0, \end{cases} \quad S_i^r = \begin{cases} 1, \sum_{j=1}^n \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{rj}} \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right) \leq 0, \\ 0, \sum_{j=1}^n \frac{\partial f^0}{\partial \Psi_{rj}} \cos\left(\frac{2\pi(i-j)}{n}\right) > 0. \end{cases} \quad (7)$$

Выражения (7) являются основной частью обобщенного алгоритма формирования управляющих воздействий, обеспечивающего стремление к минимуму целевой функции f^0 . В случае стабилизации какой-либо переменной электродвигателя в качестве данной функции может выступать квадратичная форма отклонения текущего значения переменной от заданного:

$$f^0 = (y^* - y)^2,$$

где y , y^* – текущее и заданное значения стабилизируемой переменной электродвигателя.

Таким образом, в данной работе были получены обобщенные конструкции управляющих устройств многофазной электрической машины, получающей питание от инвертора напряжения, не требующие выполнения фазных преобразований и декомпозиции управляющих векторов. В дальнейших исследованиях планируется рассмотреть варианты управления многофазными электрическими машинами, получаемые при подстановке в целевые функции квадратичных форм отклонений текущих значений потокосцепления статора и электромагнитного момента от заданных.

Список литературы / References

1. Zhao Y. Modeling and Control of Multi-Phase Induction Machine with Structural Unbalance / Y. Zhao, T. A. Lipo // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 1996. – V. 11. – № 3. – P. 570–577.
2. Sigh G. K. A Simple Indirect Field-Oriented Control Scheme for Multiphase Induction Machine / G. K. Sigh, K. Nam, S. K. Lim // IEEE Transactions On Industrial Electronics. – 2005. – V. 52. – №4. – P. 1177–1184.
3. Taheri A. Speed Sensor-Less Estimation and Predictive Control of Six-phase Induction Motor Using Extended Kalman Filter / A. Taheri, M. Mohammadbeigi // The 5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC 2014). – 2014. – P. 13–18.
4. Karampuri R. Extension of the DTC Technique to Multiphase Induction Motor Drives using any Odd Number of Phases / R. Karampuri, J. Prieto, F. Barrero, S. Jain // IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2014). – 2014. – P. 1–6.
5. Ещин Е. К. Задача управления электромагнитным моментом асинхронного электродвигателя – прямое управление моментом / Е. К. Ещин // Вестник КузГТУ. – 2006. – №6 (2). – С. 61–63.
6. Ещин Е. К. Общая задача управления асинхронным электродвигателем / Е. К. Ещин, А. В. Григорьев // Известия вузов. Электромеханика. – 2010. – №1. – С. 39–43.
7. Григорьев А. В. Управление электромагнитным моментом электропривода на базе трехфазного асинхронного электродвигателя / А. В. Григорьев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – №4. – С. 154–158.
8. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука: Главная ред. физ.-мат. лит., 1968. – 408 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhao Y. Modeling and Control of Multi-Phase Induction Machine with Structural Unbalance / Y. Zhao, T. A. Lipo // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 1996. – V. 11. – №3. – P. 570–577.
2. Sigh G. K. A Simple Indirect Field-Oriented Control Scheme for Multiphase Induction Machine / G. K. Sigh, K. Nam, S. K. Lim // IEEE Transactions On Industrial Electronics. – 2005. – V. 52. – №4. – P. 1177–1184.

3. Taheri A. Speed Sensor-Less Estimation and Predictive Control of Six-phase Induction Motor Using Extended Kalman Filter / A. Taheri, M. Mohammadbeigi // The 5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC 2014). – 2014. – P. 13–18.
4. Karampuri R. Extension of the DTC Technique to Multiphase Induction Motor Drives using any Odd Number of Phases / R. Karampuri, J. Prieto, F. Barrero, S. Jain // IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2014). – 2014. – P. 1–6.
5. Eshchin E. K. Zadacha upravleniya ehlekromagnitnym momentom asinhronnogo ehlektrodvigatelya – pryamoe upravlenie momentum [The problem of the electromagnetic torque of an induction motor control – direct torque control] / E. K. Eshchin // Vestnik KuzGTU [The messenger of KuzSTU]. – 2006. – V. 2. – №6. – P. 61–63. [in Russian]
6. Eshchin E. K. Obshchaya zadacha upravleniya asinhronnym ehlektrodvigatelem [The general problem of an induction motor control] / E. K. Eshchin, A. V. Grigor'ev // Izvestiya vuzov. EHlektromekhanika [News of universities. Electromechanics]. – 2010. – №1. – P. 39–43. [in Russian]
7. Grigor'ev A. V. Upravlenie ehlekromagnitnym momentom ehlektroprivoda na baze trekhfaznogo asinhronnogo ehlektrodvigatelya [An electrical drive based on three-phase asynchronous motor control] / A. V. Grigor'ev // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [News of Tomsk polytechnic university]. – 2012. – №4. – P. 154–158. [in Russian]
8. Boltyanskij V. G. Matematicheskie metody optimal'nogo upravleniya [Mathematical methods of the optimal control theory] / V. G. Boltyanskij. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Nauka: Glavnaya red. fiz.-mat. lit., 1968. – 408 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.164

Жиркова М.В.¹, Колодезникова А.Н.²

¹ORCID: 0000-0003-3588-6553, Старший преподаватель, Инженерно-технический институт,

²Старший преподаватель, Инженерно-технический институт,

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация

Система теплоснабжения рассматривается как сложная техническая система, в которой эффективность является определяющим и наиболее комплексным свойством. В свою очередь, показатели качества системы теплоснабжения в целом должны учитывать показатели качества отдельных частей всей системы. То есть для системы теплоснабжения написать одно уравнение, определяющее ее эксплуатационное состояние, невозможно. Кроме этого характеристику ее состояния нельзя описать одним параметром. В связи с этим, предложены показатели эффективности эксплуатационного состояния системы теплоснабжения для проведения экспертной оценки.

Ключевые слова: эффективность, система теплоснабжения, безопасность, надежность, эксплуатация, экспертная оценка.

Zhirkova M.V.¹, Kolodeznikova A.N.²

¹ORCID: 0000-0003-3588-6553, Senior lecturer, Engineering Institute, North-Eastern Federal University,

²Senior lecturer, Engineering Institute, North-Eastern Federal University in Yakutsk

PERFORMANCE INDICATORS OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM'S OPERATIONAL CONDITION

Abstract

The heat supply system is considered as difficult technical system in which efficiency is the determining and most complex property. In turn, quality indicators of heat supply system in general shall consider quality indicators of separate parts of all system. That is for heat supply system it is impossible to write one equation determining it an operational condition. Besides the characteristic of its condition can't be described one parameter. In this regard, performance indicators of an operational condition of heat supply system are offered for carrying out the expert evaluation.

Keywords: efficiency factor, heat supply system, reliability, availability, operation, expert evaluation.

Теплоснабжение населенных пунктов имеет огромное значение для жизнедеятельности человека особенно в климатических условиях Республики Саха (Якутия). Система теплоснабжения состоит из множества элементов, каждый из которых выполняет свои функции и все в целом предназначены для выполнения основной цели. То есть система теплоснабжения является сложной технической системой, состоящей из источника теплоты (котельная), магистральных и распределительных тепловых сетей, теплоиспользующих установок с индивидуальными тепловыми пунктами.

К основным свойствам системы теплоснабжения относятся эффективность, безопасность, надежность. Эффективность является определяющим и наиболее комплексным свойством системы теплоснабжения, зависит не только от параметров технической системы, но и практически от всех факторов, включая экономические, финансовые и социальные. По определению эффективность есть определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое с познавательной точки зрения раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени [2].

Сближение физических и экономически целесообразных сроков службы зданий и сооружений и их элементов и систем остается резервом повышения эффективности капитальных вложений и функционирования сооружений. Под экономически оптимальной эффективностью в общем случае принимается оптимальное соотношение качества и затрат, которое в общем виде можно выразить следующей формулой:

$$E = \frac{3}{K}, \quad (1)$$

где E – цена единицы качества; 3 – сумма всех затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию ГТС; K – количественный показатель качества. Величина E применяется в стадии проектирования, выбора эффективных вариантов, проектов систем теплоснабжения [1, 4].

Следовательно, показатели качества системы теплоснабжения в целом должны учитывать показатели качества отдельных частей всей системы. То есть для системы теплоснабжения (сложной системы) написать одно уравнение, определяющее ее эксплуатационное состояние, невозможно. Для этой сложной системы характеристику ее состояния нельзя описать одним параметром. В качестве эксплуатационных показателей для каждой части системы теплоснабжения установлены показатели, которые могут быть определены простым путем, проведением статистических анализов, данных эксплуатации и т.п. Рассматриваемые показатели эффективности были использованы для экспертно-расчетного метода оценки эксплуатационного состояния системы теплоснабжения в работе [3].

Теоретические показатели эффективности, безопасности и надежности не всегда определяются по эксплуатационным данным. Поэтому для оценки эксплуатационного состояния котельных необходимо выбрать основные показатели, наилучшим образом характеризующие эти опасные производственные объекты. Путем анализа и изучения объектов были выбраны также технические (марка и мощность котлов, год установки котлов, вид топлива) и эксплуатационные (расход условного топлива, выработка и реализация тепла котельной) показатели, характеризующие техническое состояние.

К показателям эффективности на стадии эксплуатации систем теплоснабжения предлагается принять удельный расход условного топлива, коэффициент потери тепла и суммарный КПД котлов.

Эффективность теплоснабжения зависит от применяемых видов топлива. Как известно, в Якутии топливом служат уголь, дрова, нефтяное котельное топливо, газоконденсат и природный газ. Каждый из них имеет свои собственные методы транспортировки, хранения и подачи, регулирования и автоматизации процессов их горения. Для сравнения удельных расходов разных видов топлива и для других расчетов используют понятие «условное топливо». Удельный расход условного топлива характеризует эффективность системы теплоснабжения и показывает, какое количество условного топлива (т.у.т.) приходится для выработки единицы тепла (Гкал). Формула, предложенная для определения удельного расхода условного топлива, выглядит следующим образом:

$$E_T = \frac{B_{\text{ усл}}}{Q_{\text{котла}}}, \text{ т. у. т./Гкал} \quad (2)$$

где $B_{\text{ усл}}$ – расход условного топлива, т.у.т.; $Q_{\text{котла}}$ – выработка тепла, Гкал.

Эффективность теплоснабжения определяется потерей тепла, что для продолжительного и холодного отопительного периода в условиях Севера является важным определяющим параметром. Потери зависят от расстояния транспортировки, качества утепления теплопровода. С учетом этого, для определения коэффициента потери тепла предложена следующая формула

$$K_{\text{п.т.}} = \frac{Q_{\text{котла}}}{Q_{\text{отп}}} \quad (3)$$

где $Q_{\text{котла}}$ – выработка тепла, Гкал; $Q_{\text{отп}}$ – реализация тепла, Гкал, т.е. вычисляется количество теплоты, потерянной при транспортировке теплоносителя от источника теплоты (котельной) до потребителей.

Для котельных систем теплоснабжения применяются самые разные марки котлов, у которых определены соответствующие коэффициенты полезного действия. Используя к.п.д. котлов, приводящихся в паспорте котла, определяем КПД котельной по формуле нахождения среднего арифметического.

Интенсификация производства, рост энергетической мощности и концентрация опасных веществ ведут к резкому повышению требований к специалистам, которые должны удерживать в безопасных рамках сложные и опасные производства. Обслуживающий персонал несет ответственность за состояние котла, оборудования, арматуры, КИП и за соблюдение правил техники безопасности, нарушение которых может привести к аварии котла, нередко сопровождающейся большими разрушениями и несчастными случаями. И большая численность персонала не дает гарантии фактического уровня подготовки кадров и показывает наличие старой технологии, что отражается на надежной, бесперебойной и экономичной работе котельных установок. Введем предположение, что чем технологичнее производство, тем меньше персонала должно быть задействовано в производстве. Поэтому вводится параметр степень технологичности, определяемый по количеству обслуживающего персонала как количество вырабатываемого тепла, приходящегося на одного работника,

$$K_{\text{ст.техн.}} = \frac{Q_{\text{котла}}}{n_{\text{перс}}} \quad (4)$$

где $n_{\text{перс}}$ – количество персонала, чел.

Анализ существующего состояния систем теплообеспечения показал, что значительная их часть находится в эксплуатации более 30 лет и оснащена оборудованием, выработавшим парковый ресурс. Одним из важнейших факторов, снижающих надежность систем теплоснабжения, являются старение и износ оборудования. Общий интегрированный износ котельных определяем в зависимости от года установки котла, т.е. принимаем гипотезу линейной зависимости от длительности эксплуатации

$$K_{\text{и}} = \frac{(\tau_{\text{иссл}} - \tau_{\text{уст.котла}})}{T_{\text{экспл}}} \quad (5)$$

где $\tau_{\text{иссл}}$ – год проведения исследований здания котельной; $\tau_{\text{уст.котла}}$ – год установки котла; $T_{\text{экспл}}$ – относительно-максимальный срок эксплуатации котлов, здесь $T_{\text{экспл}}=25$ лет.

Таким образом, для проведения анализа системы теплоснабжения (сложной технической системы) используются параметры и показатели, определяемые только экспертизно-опытным путем. Основными свойствами системы теплоснабжения выбраны эффективность, безопасность, надежность. Для каждого свойства определены показатели. К показателям эффективности на стадии эксплуатации систем теплоснабжения относятся удельный расход условного топлива, коэффициент потери тепла, суммарный к.п.д. котлов, общий интегрированный износ.

Список литературы / References

1. Мелентьев, Л.А. Системные исследования в энергетике: элементы теории, направления развития. – М.: Наука, 1983. – 454 с.
2. Надежность технических систем: Справочник. Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; Под ред. И. А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985.— 608 с, ил.
3. Оценка эксплуатационного состояния котельных / М.В. Попова [и др.] // Материалы международной научно-практической конференции «Строительный комплекс России: Наука. Образование. Практика». – Улан-Удэ, 2008. – С. 119-123.
4. Руденко, Ю.Н. Надежность систем энергетики / Ю. Н. Руденко, И. А. Ушаков. – М.: Наука, 1986. – 323 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Melent'ev, L.A. Sistemnye issledovaniya v jenergetike: jelementy teorii, napravlenija razvitiija [System researches in power engineering: elements of the theory, directions of development]. – Moscow: Nauka, 1983. – 454 p. [in Russian]
2. Nadezhnost' tehnicheskikh sistem: Spravochnik [Reliability of technical systems: Reference book]. Ju. K. Beljaev, V. A. Bogatyrev, V. V. Bolotin and others; Pod red. I. A. Ushakova [under I. Ushakov's edition]. — Moscow: Radio i svjaz', 1985. – 608 p. [in Russian]
3. Ocenna jeksploatacionnogo sostojanija kotel'nyh [Assessment of boiler rooms operational condition] / M.V. Popova [and others] // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Stroitel'nyj kompleks Rossii: Nauka. Obrazovanie. Praktika» [Collected book of International academic and research conference “Construction complex of Russia: Science. Education. Practice”]. – Ulan-Ude, 2008. – P. 119-123. [in Russian]
4. Rudenko, Ju.N. Nadezhnost' sistem jenergetiki [Reliability of power systems] / Ju. N. Rudenko, I. A. Ushakov. – Moscow: Nauka, 1986. – 323 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.166

Иринина О.И.¹, Куткина М.Н.², Елисеева С.А.³

¹Кандидат технических наук, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), ²Кандидат технических наук,

³ORCID: 0000-0003-1051-4016, Кандидат технических наук,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИНИРОВАННЫХ ФОРМОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ МАЛОЖИРНЫХ РЫБ

Аннотация

В статье приведены результаты изучения функционально-технологических свойств основных и дополнительных рецептурных компонентов рыбно-растительных фаршевых изделий. В качестве наполнителей авторы использовали ингредиенты растительного и животного происхождения. За счет введения в рецептуру наполнителей были стабилизированы структурно-механические, органолептические, физико-химические показатели фарши и готовой к употреблению продукции; гармонизирован макро- и микронутриентный состав комбинированных формованных продуктов из маложирных рыб с функциональными свойствами.

Ключевые слова: рыбно-растительные изделия, функционально-технологические характеристики.

Irinina O.I.¹, Kutkina M.N.², Eliseeva S.A.²

¹PhD in Engineering, Vladimir state University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs (VISU), ²PhD in Engineering, ³ORCID: 0000-0003-1051-4016, PhD in Engineering,
St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great

FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RECIPE COMPONENTS OF COMBINED FORMED PRODUCTS FROM LOW-FAT FISH

Abstract

The article presents the results of the study of functionally-technological properties of the main and additional prescription ingredients fish-vegetable stuffing products. As fillers, the authors used the ingredients of vegetable and animal origin. Due to the introduction in the formulation of products fillers was stable structural-mechanical, organoleptic, physico-chemical characteristics of minced fish and ready to eat products; harmonized macro - and micronutrient composition of combined molded products of low-fat fish with functional properties.

Keywords: fish-vegetable products, functional and technological characteristics.

В связи с увеличением в уловах доли мелких рыб и рыб пониженной товарной ценности, перспективным направлением в пищевой промышленности является производство рыбного фарша. Технология его позволяет использовать нестандартную рыбу с механическими повреждениями, дефектами разделки. Расширению производства фарша и изделий из него в промышленных масштабах способствует наличие современного технологического оборудования.

Многочисленными исследованиями подтверждено, что рыбный фарш является полноценным продуктом, сохраняющим пищевую ценность и органолептические свойства, присущие натуральной рыбе. Внесение различного рода наполнителей

увеличивает выход фаршевых масс примерно в 1,5 раза, по сравнению с натуральным филе. За счет добавления наполнителей улучшаются структурно-механические, органолептические, физико-химические показатели фаршей и готовой к употреблению продукции; гармонизируется макро- и микронутриентный состав изделий; интенсифицируется технологический процесс производства.

Анализ литературных данных показывает, что в качестве наполнителей широко используется вторичное сырье (молоко сухое обезжиренное - СОМ, молочные белки-казеинаты, копрецептаты, белки сои-концентраты, изоляты); пищевые отходы рыб, морепродуктов (головы, хвосты, плавники, кости, панцири ракообразных); полифосфаты; метилцеллюлоза, сухое картофельное пюре (СКП), растительное сырье (крупы, мука, крахмал, овощи, картофель) и др.

Цель работы - обосновать выбор основного сырья и дополнительных ингредиентов с учетом их функционально-технологических характеристик.

Объектами исследования были выбраны наиболее массовые виды рыбного сырья промысла морского – минтай и горбуша мороженые (ГОСТ 1168 – 86 и ГОСТ 20057-96) и речного – щука охлаждённая (ГОСТ 814-96). В таблице 1 приведены данные о химическом составе мышечной ткани рыб с кожей.

Таблица 1 – Показатели общего химического состава рыбного сырья

Наименование показателей	Виды рыб		
	Минтай	Горбуша	Щука
Содержание, г/100 г			
Влага	81,3±1,6	71,3±1,4	79,3±2,4
Белок	16,2±0,4	20,8±0,6	18,4±0,6
Липиды	0,91±0,02	6,71±0,02	1,10±0,02
Минеральные вещества (зола)	1,22±0,03	1,23±0,02	1,24±0,03
в т.ч. мг/100 г			
Натрий	40,2±0,8	70,3±1,8	42,1±0,8
Калий	354±17	300±14	262±13
Кальций	38,5±1,2	25,1±1,3	51,5±2,5
Магний	72,5±1,5	45,2±0,9	32,1±0,9
Фосфор	265±5	202±6	196±4
Железо	0,62±0,02	0,91±0,03	0,73±0,02

Как видно из таблицы 1 исследуемые виды рыб характеризуются значительным содержанием белка (16,2 - 20,8 г/100 г продукта) и достаточно низким уровнем мышечных липидов (0,91 - 6,71 г/100 г продукта).

На стадии составления фарша вносили следующие добавки: крупу гречневую, овсяную (геркулес), пшено, муку ржаную хлебопекарную обдирную, муку гречневую, морковь столовую свежую, свеклу, капусту белокочанную свежую.

В качестве структурообразователей использовали молоко сухое обезжиренное (ГОСТ 10970 – 87) и сухое картофельное пюре (ТУ 9166-001-23158063 – 2000). Молоко сухое использовалось также в целях оптимизации рецептур по аминокислотному составу и в качестве источника кальция.

Одним из перспективных направлений создания нового поколения пищевых продуктов с заданным химическим составом является изыскание природных обогатителей целенаправленного действия. Во многих работах приведены результаты исследований по разработке добавок, обогащающих минеральный состав изделий, в том числе с использованием костей рыбы. В костях преобладают магний, кальций, фосфор, калий, марганец и др. макро- и микроэлементы. Поэтому было решено вводить в фарши минеральную добавку из костей рыбы (МКД).

Кости минтая после разделки используемой рыбы варили в течение 2-2,5 ч с добавлением 50% воды к массе костей до их полного размягчения, после охлаждения массу измельчали до размера частиц 0,5-1 мм. Длительная варка в присутствии воды способствует переходу оссина и коллагена в глютин.

Минеральная добавка (МКД), участвует в структурообразовании фаршевых масс. Кроме того, использование костей и кожи снижает отходы при разделке рыбы, увеличивает выход готовой продукции, делает производство безотходным. Предварительные расчёты по оптимизации минерального состава и данные органолептического анализа рыборастительных фаршей и изделий из них позволили установить массовую долю минеральной костной добавки (МКД), прошедшей тепловую обработку в количестве 10,5% к массе сырой мякоти рыбы.

Проведённые авторами исследования пищевой ценности минеральной добавки из костей минтая свидетельствуют о том, что она может служить эффективным обогатителем кулинарных рецептур. В таблице 2 приведен химический состав минеральной добавки, полученной при переработке костей минтая.

Таблица 2 – Химический состав минеральной добавки из костей (МДК) минтая

Наименование показателей	Результаты испытаний
Массовая для сухих веществ, %	23,2±0,7
Белки	14,95±0,44
Липиды	1,5±0,05
Зола	6,21±0,18
Макроэлементы, мг/100 г	
Калий	480±14

Окончание табл. 2 – Химический состав минеральной добавки из костей (МДК) минтая

Наименование показателей	Результаты испытаний
Кальций	1720±43
Магний	490±14
Фосфор	1160±35
Железо	0,815±0,031
<i>Микроэлементы, мг/100 г</i>	
Медь	0,061±0,003
Цинк	0,925±0,030
Марганец	0,087±0,004
Кобальт	0,039±0,002

МДК содержит значительное количество белков (14,95%), в основном, соединительно-тканых, которые повышают влагоудерживающую способность фаршей (ВУС), а в результате постденатурационных изменений при тепловой обработке - увеличивают сочность и выход готовых изделий.

Соотношение Ca: P: Mg в крупах не отвечает формуле сбалансированного питания. Минеральная добавка из костей минтая содержит значительное количество кальция, фосфора, магния. Поэтому при сочетании рыбы с минеральным костным обогатителем и крупой можно прогнозировать улучшение сбалансированности по минеральному составу.

Для дальнейших исследований были взяты изделия с использованием сырых овощей, в тонкоизмельчённом виде в составе овоще-жировых композиций, что более технологично с точки зрения индустриального производства.

Сухая крошивая консистенция рыбы в сочетании с низкой ВУС не способствует образованию пластичной структуры рыбной фаршевой массы при введении в него традиционной добавки - пшеничного хлеба. Поэтому при выборе функциональных добавок положительный эффект имеют те, которые обладают высокими гидрофильтральными свойствами: белки сухого обезжиренного молока или полисахарида овощей.

По содержанию воды, белка, жира (табл.1) рассчитывали коэффициенты обводнённости белков (K_o = вода/белок), коэффициент жирности ($K_{ж}$ = жир/белок) и коэффициент структурообразования ($K_{ст}$ - азот солерастворимой фракции белков к общему содержанию азота). Данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика рыбного сырья по технологическим свойствам

Наименование и характеристика показателей	Минтай	Щука	Горбуша
ВУС, %	44,2	90,4	70,4
K_o	5,0	4,3	3,8
$K_{ж}$	0,05	0,06	0,32
$K_{ст}$	0,1	0,15	0,22
Структура тканей	Водянистая	Плотная, сочная	Плотная, суховатая
Тип дисперсной структуры	Коагуляционно-конденсационная ($K_{ст} < 0,2$)		
Текстура фарша	Однородная	Однородная	Слабая, слоистая

Низкое содержание жира в тканях минтая связано, очевидно, со временем и местом вылова. Влагоудерживающая способность наиболее высокая у тканей охлаждённой щуки. По сравнению с ней горбуша и минтай имеют более низкие значения ВУС (на 22% и 51% соответственно), так как это сырьё поступает в замороженном виде, белки подвергаются необратимой денатурации и плоходерживают влагу после дефростации. Фаршевые изделия из таких рыб имеют низкую формоустойчивость. Особенно неблагоприятны в этом отношении ткани минтая. Щука по структуре тканей находится в одной группе с минтаем, но имеет лучшую ВУС, горбуша занимает промежуточное положение.

Результаты. Исследованы функционально-технологические свойства основного сырья и дополнительных компонентов, формирующих структуру рыборастительных масс. Для рыбно-овощных масс ВУС составила 78-79%, ЖУС – 36-46%, потери массы при тепловой обработке – 7,0-9,0% (контроль – 16,3%); для рыбно-крупяных масс: ВУС – 67-70,5%, ЖУС – 50-67%, потери массы при тепловой обработке – 5,8 - 11,3% в зависимости от вида круп или муки.

Приведённая оценка сырья позволяет оптимизировать подбор компонентов в зависимости от их функционально-технологических характеристик при создании комбинированных формованных рыбно-растительных продуктов.

Список литературы / References

1. Денисова С.А., Шевченко В.В. Возможности использования отходов рыбы на пищевые цели // С.А. Денисова, В.В. Шевченко // Сборник научных трудов по материалам конференции «Расширение ассортимента и контроль качества продовольственных товаров». – СПб. : СПбТЭИ, 1994. – С. 25 – 29.
2. Елисеева С.А. Технология универсальных овощных полуфабрикатов консервированных холодом для предприятий общественного питания : дис. ...канд. тех. наук: 05.18.04: защищена 16.12.2013: утв. 14.05.2014 / Елисеева Светлана Анатольевна. – СПб : СПб НИУ ИТМО. 2013. – 165 с.
3. Иринина О.И. Разработка технологии и ассортимента кулинарной продукции с функциональными свойствами на основе рыбного фарша : дис. ... канд. тех. наук: – 05.18.04: защищена 30.03.2011: утв. 03.06.2011 / Иринина Ольга Ивановна. – СПб : СПб НИУ ИТМО. 2011. – 230 с.
4. Пат. 2192148 Российская Федерация, МПК ⁷ A23L1/30, A23L1/314, A23L1/317, A23L1/325, A23L1/212 Наполнитель для мясных, рыбных, овощных фаршей, а также блюда и полуфабрикаты из них [Текст] / Шамкова Н.Т.,

Зайко Г.М.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный технологический университет. - N 2000121282/13; заявл. 09.08.2000; опубл. 10.11.2002, Бюл. N 16. – 5 с.: ил.

Список литературы на английском языке / References in English

- Denisova S. A., Shevchenko V. V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya othodov ryby na pishchevye celi [Possibility of using waste fish for food purposes] // S. A. Denisova, V. V. Shevchenko // Sbornik nauchnyh trudov po materialam konferencii «Rasshirenie assortimenta i kontrol' kachestva prodovol'stvennyh tovarov» [Collection of scientific works on materials of the conference «Expansion of the range and the quality control of food products»]. – SPb. : Spbtei, 1994. P. 25 – 29. [in Russian]
- Eliseeva S. A. Tehnologija universal'nyh ovoshchnyh polufabrikatov konservirovannyh holodom dlja predpriyatiij obshhestvennogo pitanija [Universal Technology of semi-processed products canned cold for public catering enterprises] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.18.04: defense of the thesis 16.12.2013: approved 14.05.2014 / Eliseeva Svetlana Anatol'evna. SPb : SPb NRU ITMO, 2013. – 165 P. [in Russian]
- Irinina O. I. Razrabotka tehnologii i assortimenta kulinarnoj produkci s funkcional'nymi svojstvami na osnove rybnogo farsha [Development of technology and the range of culinary products with functional properties on the basis of minced fish] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.18.04: defense of the thesis 30.03.2011: approved 03.06.2011 / Irinina Olga Ivanovna. SPb : SPb NRU ITMO. 2011. 230 P. [in Russian]
- Pat. 2192148 Russian Federation, IPC 7 A23L1/30, A23L1/314, A23L1/317, A23L1/325, A23L1/212 Napolnitel' dlja mjasnyh, rybnyh, ovoshchnyh farshej, a takzhe bljuda i polufabrikaty iz nih [Filler for meat, fish, vegetable stuffing as well as dishes and semi-finished products] [Text] / Samkova N. T., Zayko, M.; applicant and patentee Kuban state technological University. – N 2000121282/13; Appl. 09.08.2000; publ. 10.11.2002, bull. N 16. – 5 P.: il. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.069

Каменчуков А.В.¹, Пугачев И.Н.²

¹ORCID: 0000-0001-7997-3195, Кандидат технических наук,

²ORCID: 0000-0001-5625-5174, Доктор технических наук,

Тихоокеанский государственный университет

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы повышения качества и безопасности дорожного движения. Оценивается целесообразность и эффективность применения методов и средств аудита безопасности дорожного движения, как первогоочередного этапа повышения безопасности дорожного движения. Даны основные принципы, и рекомендации по применению методов аудита для повышения безопасности дорожного движения. Выдвинуты основные требования к повышению эффективности работ по аудиту безопасности дорожного движения. Предложен ряд мероприятий по повышению качества и безопасности дорожного движения в зависимости от сроков и перспектив реализации инженерного проекта.

Ключевые слова: автомобильная дорога, аудит, безопасность дорожного движения, эффективность, качество дорог.

Kamenchukov A.V.¹, Pugachev I.N.²

¹ORCID: 0000-0001-7997-3195, PhD in Engineering,

²ORCID: 0000-0001-5625-5174, PhD in Engineering,

Pacific National University,

ADVANCED METHODS IN ASSESSMENT OF ROAD QUALITY AND SAFETY

Abstract

The paper deals with the issues of improving the quality and safety of traffic. It assesses the appropriateness and effectiveness of the methods and means of road safety auditing as a priority step in order to improve road safety. We provide basic principles and guidelines for the use of audit techniques to improve road safety. We single out basic requirements for improving the effectiveness of road safety auditing. A number of measures to improve the quality and safety of traffic has been suggested, which depend on the timing and prospects for the implementation of the engineering project.

Keywords: highway, audits, road safety, efficiency, quality of roads.

На протяжении последних 5-7 лет аудит безопасности дорожного движения активно развивается в Европе и Европейской части России. В основном это связано с повышением уровня автомобилизации населения увеличением транспортной нагрузки [1, С. 176-179], [2, С. 272-276]. Поэтому дороги, построенные еще в прошлом веке, не справляются с возросшей нагрузкой, что приводит к ухудшению качества и безопасности дорожного движения (БДД).

В конце прошлого века в Европе образовались и окрепли инженерно-управленческие школы в организации движения, которые систематизируют, анализируют и совершенствуют опыт повышения качества дорожного движения. Применение инженерного подхода, к вопросу повышения качества и безопасности дорожного движения лежит в основе методов аудита безопасности дорожного движения [3, С. 18-26].

В России методы аудита БДД развиваются медленно, особенно в районах удаленных от центральной и европейской частей страны. Например, на Дальнем Востоке целенаправленных работ по развитию методик аудита БДД не проводилось и управляющие организации не знакомы с современными теоретическими и практическими основами предупреждения аварийности на дорогах. Можно сказать, что данная методика основана на принципах относительного контроля и предупреждения развития аварийных ситуаций с учетом техническо-эксплуатационных

показателей и специфических психофизических критериев удобства пользования дорогой участниками движения. При этом основная цель методики заключается в раннем выявление и заблаговременное устранение возможных причин дорожно-транспортных происшествий.

По смысловому содержанию, задачи аудита БДД подразделяются на три группы:

1. Повышение качества и безопасности дорожного движения, путем совершенствования схем организации движения и устранения очагов аварийности.

2. Изучение и анализ причинно-следственных связей возникновения ДТП и разработка мероприятий предупреждения развития аварийных ситуаций на стадии проектирования, строительства и эксплуатации транспортных сооружений.

3. Снижение эксплуатационных и экономических затрат на развитие сети автомобильных дорог региона.

По формам организационно-технического обеспечения аудит БДД подразделяется на:

– Внутренний – направленный на решение задач первой группы;

– Внешний – предназначенный не только для решения задач 1 – 3 группы, но и для оценки эффективности деятельности дорожно-эксплуатационной организации.

Объекты аудита так же подразделяются на три группы:

1. Проектная и нормативно-техническая документация на линейные объекты капитального строительства, в том числе схемы организации и распределения транспортных потоков.

При проектировании дорожных объектов необходимо чтобы проект не только соответствовал минимально допустимым требованиям норм проектирования, но и удовлетворял не формальным условиям ясности и простоты восприятия дороги ее пользователями. Для этого необходимо моделировать процессы движения и распределения транспортных потоков на каждой стадии разработки и согласования вариантов проектных решений (при проектировании плана трассы и продольного профиля дороги).

2. Участки строящихся, реконструируемых и ремонтируемых автомобильных дорог.

В процессе строительства дороги необходимо не только контролировать соответствие технологических процессов требованиям проектной и нормативной документации, но и выявлять участки несоответствия фактических и проектных условий производства работ. Кроме этого необходимо выполнять оценку безопасность движения по дороги в дневное и в ночное время суток (особенно для объектов ремонта и реконструкции).

3. Транспортно-эксплуатационные показатели эксплуатируемых автомобильных дорог с выделением характеристических участков, в том числе детальное изучение мест концентрации ДТП.

Аудита эксплуатируемых дорог является основным и наиболее значимым, с позиции совершенствования системы организации дорожного движения, повышения качества и безопасности движения транспортных потоков. Поэтому на эксплуатируемых дорогах регулярно необходимо выполнять работу по изучению статистики ДТП, выявлению причин возникновения аварий, измерению геометрических параметров проезжей части и оценивать правильность, ясность и простоту восприятия элементов дорожного обустройства в дневное и ночное время суток, в зимний и летний периоды эксплуатации дороги.

При этом, на эксплуатируемых дорогах выделяют две группы объектов обследования:

1. Общие для всех дорог – прямолинейные участки дорог с двумя и более полосами движения, участки закругления трассы и виражи, места стоянки транспортных средств и автобусные остановки, пересечения с автомобильными и железными дорогами в одном и разных уровнях, съезды и примыкания к автомобильными дорогам.

2. Характерные для улично-дорожной сети городов и других населенных пунктов – наземные не регулируемые и регулируемые пешеходные переходы, надземные и подземные пешеходные переходы, пересечения с трамвайными путями и трамвайные остановки, регулируемые железнодорожные переезды, площади и участки кольцевого движения.

Последовательность работ можно разделить на следующие этапы:

1. Изучение проектно-сметной и нормативно технической документации, анализ статистических данных и установление характерных участков обследования.

2. Полевые исследования, сбор дополнительной статистической информации.

3. Анализ и систематизация полученных данных, выявление главных и второстепенных факторов влияющих на аварийность.

4. Разработка и предложение комплексов мероприятий по улучшению качества и безопасности движения на аварийных участках.

Аудит БДД на стадии эксплуатации дороги, должен являться неотъемлемой частью работ по диагностике и паспортизации дорог и проводиться специализированными организациями.

Для эффективного внедрения методов аудита БДД необходимо создавать специальные аудиторские организации. Они могут быть:

- Государственными, на базе ВУЗов и НИИ;
- Частными компаниями.

Наибольшая эффективность работ достигается при условии:

– Полной независимости аудиторских организаций от отраслевых организаций занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией дорог;

- Государственной поддержки и заинтересованности пользователей дорог;
- Регулярности обследований, на всех стадиях жизненного цикла дороги;
- Квалифицированного кадрового состава.

Результативность аудита безопасности определяется соблюдением трех основных требований:

- наличия политики аудита;
- обязательности и регулярности аудита на каждом этапе технологического развития проекта. Для этого требуется совместная работа экспертов, обладающих опытом проектирования, эксплуатации и обеспечения БДД;
- формальностью процедуры аудита. Выполнение этого требования упрощается с помощью руководств и стандартных листов контроля с перечнем элементов и их эксплуатационных характеристик, которые должны быть проверены аудиторами.

Практика аудита безопасности особенно полезна из-за выявления и решения потенциальных проблем, связанных с человеческим фактором еще до того, как ошибка человека станет причиной реальной аварии.

Специалистами Тихоокеанского государственного университета, в начале апреля 2016 года выполнена работа по аудиту безопасности дорожного движения автомобильной дороги Хабаровск – Комсомольск-на-Амуре на участке км 50 – км 180. В ходе обследования детально изучались не только потенциально опасные участки (путем заполнения ведомостей по оценке дорожной обстановки, качества и безопасности движения), но и весь участок дороги путем проезда его на автомобиле (составление видеоотчета, для оценки ясности, безопасности и качества движения). В результате был выявлен ряд потенциально опасных участков:

- от 76 до 78 км дороги (Хабаровский район) – 2 аварии в 2015 году;
- от 122 до 123 км дороги (Нанайский район) – 2 аварии в 2015 году;
- от 144 до 145 км дороги (Нанайский район) – 2 аварии в 2015 году;
- от 161 до 163 км дороги (Нанайский район) – 2 аварии в 2015 году;

Данные об аварийности сопоставлены с материалами полученными в ГБДД и установлено, что участки действительно являются опасными и необходимо разработать ряд мероприятий по уменьшению вероятности возникновения ДТП..

Для улучшения качества и безопасности дорожного движения рекомендуется выполнить ряд организационно-технических и инженерных мероприятий, которые можно разделить на три группы.

1 группа: Краткосрочные работы – это работы не требующие больших финансовых затрат и обеспечивающие сравнительно небольшое улучшение безопасности дорожного движения. Срок реализации работ 1-й группы составляет не более 10-15 дней. К ним относят:

- установку дополнительных дорожных знаков;
- восстановление разметки;
- ямочный ремонт покрытия при суммарном объеме работ на 1 км дороги не более 100 м²;
- заделка трещин струйно-инъекционным методом при суммарном объеме работ на 1 км дороги не более 250 м трещин;
- устройство шумовых полос.

2 группа: Среднесрочные работы – это работы дающие значительный эффект по улучшению качества и безопасности дорожного, но их стоимость в несколько раз выше стоимости работ 1-й группы. Для реализации работ 2-й группы необходимо выполнить комплексные изыскательские и проектные работы, а срок реализации работ составляет от 1 до 3 месяцев. К ним относят:

- расчистка полосы отвода для обеспечения видимости (ширина полосы определяется расчетом);
- уширение земляного полотна на закруглениях без изменения радиусов;
- восстановление видимости в продольном профиле;
- ямочный ремонт покрытия (объем работ от 100 м² до 250 м² на 1 км дороги);
- заделка трещин струйно-инъекционным методом (от 250 до 500 м трещин на 1 км дороги);
- полное переустройство покрытия (участок до 100 п.м. на 1 км ремонтируемой дороги);
- устройство освещения при относительно близком расположении электросетей (до 5 км от места производства работ);

3 группа: Долгосрочные работы – это работы, предполагающие полную или частичную модернизацию или реконструкцию аварийного участка и подходов к нему, с возможностью переустройства нескольких участков одновременно. Для реализации работ 3-й группы необходимо выполнить комплексные изыскательские и проектные работы, а срок реализации работ составляет более 6 месяцев. К ним относят:

- устройство дополнительных полос движения и улучшением видимости в основном и встречном направлении;
- спрямление участков закругления;
- полное переустройство дорожной одежды;
- устройство освещения, независимо от близости электросетей;
- реконструкция нескольких участков без закрытия движения.

В результате технико-экономического сравнения вариантов ремонтных работ и основных проектных решений, по методике [4, С. 23-26] рекомендованы к выполнению работы 1 группы и разработан проект реконструкции дороги Хабаровск – Комсомольск-на-Амуре на км 52 – км 110 (обход перевала). Таким образом, рассматриваемая методика, несомненно, способствует повышению качества и безопасности движения, снижает и предупреждает развитие аварийных ситуаций, уменьшает экономические и социальные потери.

Список литературы / References

1. Ярмолинский А.И. Эффективность ремонта автомобильных дорог Хабаровского края / А.И. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: труды Всероссийской молодежной научно-практической конференции (10-13 апреля 2012 года) : в 3 т./ под ред. Б.Е. Дынькина, А.Ф. Серенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012 – Т. 1. – С. 176-181.

2. Системные проблемы несущей способности дорожных покрытий на дорогах и улицах Российской Федерации / И.Н. Пугачев, Ю.И. Куликов, А.Е. Васильев // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния. В 2 т. : материалы XXII Междунар. (двадцать пятой екатеринбургской) науч.-практ. конф. (16–17 июня 2016 г.) / науч. ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург, 2016. – Т. 1. – С. 271-279.

3. Аудит безопасности дорожного движения : [монография] / Д.В. Капский [и др.]; науч. ред. Д.В. Капский; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 428 с.

4. Разработка методики выбора эффективных методов ремонтных работ в зависимости от их стоимости и фактического транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия / В.А. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Транспортное строительство. 2014. № 8 – С.23-26.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Jarmolinskij A.I. Jeffektivnost' remonta avtomobil'nyh dorog Haba-rovskogo kraja [The effectiveness of road repair Khabarovsk Krai] / A.I. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Nauchno-tehnicheskie problemy transporta, promyshlennosti i obrazovanija: trudy Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (10-13 aprelja 2012 goda) : v 3 t. / pod red. B.E. Dyn'kina, A.F. Serenko. [Scientific and technical problems of transport, industry and education: the works of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference (10-13 April 2012): in 3 V. / ed. B.E. Dyn'kin, A.F. Serenko.] – Habarovsk [Khabarovsk] : Izd-vo DVGUPS, 2012 – V. 1. – P. 176-181. [in Russian]

2. Sistemnyie problemyi nesuschej sposobnosti dorozhnyih pokryitiy na dorogah i ulitsah Rossiyskoy Federatsii [Systemic problems of bearing capacity of pavement on the roads and streets of the Russian Federation] / I.N. Pugachev, Y.I. Kulikov, A.E. Vasiliev // Sotsialno-ekonomicheskie problemyi razvitiya i funktsionirovaniya transportnyih sistem gorodov i zon ih vliyaniya. V 2 t. : materialyi 22 Mezhdunar. (dvadsat pyatoy ekaterinburgskoy) nauch.-prakt. konf. (16–17 iyunya 2016 g.) / nauch. red. S.A. Vaksman [Socio-economic problems of development and operation of transport systems of cities and regions of their influence. In 2 V. : Materials 22 International (twenty-fifth Ekaterinburg) Scientific-practical conference (16-17 June 2016) / scien. ed. S.A. Waxman]. – Ekaterinburg [Ekaterinburg], 2016. – V. 1. – P. 271-279.

3. Audit bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Road Safety Audit]: [monografiya] / D.V. Kapskij [and others]; scien. ed. D.V. Kapskij; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp [Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, Belarusian State University of transp]. – Gomel' [Gomel] : BelGUT, 2015. – 428 p. [in Russian]

4. Razrabotka metodiki vybora jeffektivnyh metodov remontnyh rabot v zavisimosti ot ih stoimosti i fakticheskogo transportno-jekspluatacionnogo sostojanija dorozhnogo pokrytija [Develop procedures for the selection of effective methods of repair depending on their value and the actual transport and operating condition of pavements] / V.A. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Transportnoe stroitel'stvo [Transportation construction]. 2014. - No 8 – P. 23-26. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.101

Каюмова Р.Ф.

ORCID: 0000-0001-9028-223X, Кандидат технических наук, доцент,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОДЕЖДЫ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация

Приведены результаты исследований основных эксплуатационных характеристик одежды для детей, формирующей нормальную осанку с помощью корригирующих элементов в виде эластичных бретелей, выполненных из композиционных материалов. Были проведены исследования деформации растяжения эластичных элементов, оказывающих давление на тело человека в области плеч и лопаток. Результаты исследований позволили оптимизировать некоторые конструктивные и технологические параметры изготовления корригирующих элементов с целью повышения эффективности детской одежды, формирующей правильную осанку.

Ключевые слова: одежда из композиционных материалов, детская одежда, корректирующая осанку, давление одежды на тело человека, конструкция и технология изготовления эластичных бретелей.

Kayumova R.F.

ORCID: 0000-0001-9028-223X, PhD in Engineering,

Ufa State Oil Technical University

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE CLOTHING FROM COMPOSITE MATERIALS

Abstract

The results of studies of the basic indicators of operational properties of the clothing for children, forming a normal posture with the help of corrective elements in the form of elastic straps, made of composite materials, are shown.

Studies of tensile deformation of the elastic elements exerting pressure on the human body at both the shoulders and the shoulder blades have been conducted.

The results of the research made it possible to optimize some constructive and technological parameters of manufacturing corrective elements with the aim of increasing the effectiveness of children's clothing, forming a correct posture.

Keywords: clothing of composite materials, children's clothing, corrective posture of person, pressure of garments on human body, design and manufacturing technology of elastic straps.

Статистика заболеваний детей различными формами нарушения осанки вследствие недостатка двигательной активности и неправильной позы при ходьбе и сидении в настоящее время продолжает расти [1, С. 12]. Разработанная на кафедре технологии и конструирование одежды детская одежда, формирующая нормальную осанку, обеспечивает необходимый уровень давления (14 -25 мм рт.ст.) в зоне плеч и лопаток за счёт эластичных бретелей, изготовленных в виде композита, где формуустойчивые участки чередуются с эластичными участками из трикотажного полотна или тесьмы. Степень эластичности бретелей корректируется за счёт изменения расстояния между строчками настрачивания фиксирующих элементов на эластичную основу из трикотажного полотна [2, С. 46]. Как показала практика, изготовление бретелей в виде композита на основе натуральной или искусственной кожи и эластичной тесьмы даёт стойкий эффект формуустойчивости. Верхние и боковые стороны эластичных бретелей соединены с боковыми сторонами спинки. Также на спинке имеются карманы, снабжённые жёсткими пластинами, которые оказывают давление на внутреннюю часть лопаток. Эластичный пояс, не препятствуя дыханию, нормализует посадку изделия на фигуре, а эластичные бретели оттягивают плечи ребёнка назад, выравнивая осанку.

Как было указано ранее, элемент коррекции осанки был встроен в модели повседневной детской одежды (сарафан, жилет, жакет, комбинезон) [3, С. 71]. Как показали проведённые маркетинговые исследования, одежда, корректирующая осанку, востребована на потребительском рынке республики Башкортостан [4, С. 266].

Опытная носка разработанных изделий выявила необходимость оптимизации некоторых технологических параметров изготовления эластичных бретелей, оказывающих необходимое давление на плечи и лопатки человека, с целью коррекции неправильной осанки. В частности, необходимо было установить оптимальную ширину и место расположения эластичных бретелей на спинке изделий.

В ходе эксперимента измерялась деформация растяжения материала в эластичных бретелях детских изделий, а также величина давления бретелей на тело испытуемого. Для измерений указанных величин были заданы следующие движения : «руки вперед»; «руки опущены», «руки в стороны», «локти вперед, округляя спину» (имитируя сутулость) и «наклон вперед». Характер движений был выбран в соответствии с рекомендациями специалистов — ортопедов протезно-ортопедического предприятия г. Уфы.

Для получения оптимальных результатов испытания проводились с привлечением 20 человек (детей младшего школьного возраста).

В процессе измерений изменяли углы закрепления бретелей в верхней и нижней частях в диапазоне от 20° до 45° от горизонтальной линии. Также варьировали ширину бретелей в диапазоне от 25 до 45 мм.

Деформацию растяжения материала непосредственно в изделии можно измерить с помощью швейной хлопчатобумажной нитки (метод "нитки"). Метод "нитки" - наиболее прост и не требует применения специальных приборов, он позволяет получать результаты измерения с достаточной точностью. Измерения проводились по внутренним и наружным краям эластичных лент корректоров на расстоянии 0,5 см от края, размечены точки закрепления и протягивания ниток. Расстояния между точками закрепления (базу) устанавливали исходя из размеров и формы корректирующих элементов. На участках, имеющих сложную пространственную конфигурацию (под рукой), расстояние между точками составило 10 мм, на других участках база была увеличена до 30-40 мм.

Перед изменением деформации эластичная лента на участке нитки расправляется и укладывается на столе без натяжения и перекосов, нитка со стороны свободного конца подтягивается до плотного прилегания к материалу и на ней делается отметка. Затем изделие надевается на человека, при этом на отдельных участках происходит перетягивание ниток. Поэтому после того как изделие надето на человека и расправлено, нитки по всем направлениям подтягиваются до полного прилегания их к материалу и делается вторая попытка.

После выполнения человеком одного заданного движения, не снимая изделия (в состоянии покоя), на нитках делается третья отметка. Расстояние между второй и третьей отметками, измеренное с точностью до 0,5 мм, и является характеристикой растяжения материала на данном участке в заданном направлении. После небольшого отдыха (до 15 мин.) нитки подтягиваются до плотного прилегания к материалу. Движение повторяется и проводится измерение еще раз. Точно так же проводится третье измерение. Среднее арифметическое трех измерений отрезков нити служит характеристикой удлинения материала на данном участке в заданном направлении. В процессе первых измерений было обнаружено, что на верхних участках проймы деформация незначительна и распределена по небольшим отрезкам, что затрудняет ее измерение, поэтому на данных участках было решено увеличить расстояние между точками (базу). Далее измерения проводились на уточненных базах.

Результаты измерений показали, что уже при надевании корректоров деформация растяжения составляет: на верхнем и среднем участках проймы-5-20 %, на нижнем участке проймы - увеличивается до 20-35 %. Деформация растяжения на поясе распределена равномерно по всей длине и составила 5- 20 % в зависимости от натяжения. Деформация растяжения определяет величину давления корректирующих элементов на тело человека. Полученные данные позволили внести корректины в технологию изготовления бретелей, в частности необходимость увеличения площади покрытия кожей участков под проймой на 10%, при этом уменьшается площадь незафиксированной площади эластичной основы. Достигается это путём увеличения ширины полос кожи, настроченных на эластичную основу и уменьшения ширины незафиксированных участков эластичной основы.

Давление бретелей на тело на участке плеча и лопатки постоянно измерялось с помощью специально разработанного для этой цели устройства с помощью лепесткового резинового датчика, нагнетателя воздуха и индикатора давления [5].

Учитывались показания деформации растяжения, при которых уровень компрессии бретелей на тело в динамике не превышал 25 мм рт. ст., т.е. не выходил за пределы допустимого для бытовых изделий.

Удобство эксплуатации экспериментальных изделий оценивалось с помощью балльной оценки состояния при выполнении различных движений и оценки внешнего вида изделия.

Было выявлено, что оптимальная ширина бретели составила 35 мм. При большей ширине бретели перегибаются в области подмышечных впадин и врезаются в тело. При меньшей ширине возникают болезненные ощущения в

области плеча и бретель также врезается в тело. Линия соединения бретели к боковой части спинки должна быть расположена под углом 25° к горизонтальной линии. Линия присоединения бретели к верхней части изделия должна располагаться под углом 30°. Кроме того, с целью уменьшения деформации растяжения бретели под проймой необходимо увеличить площадь покрытия кожей участков под проймой на 10%.

Таким образом, оптимизация технологических параметров изготовления корректирующего элемента позволяет повысить комфортность и эффективность детской одежды, формирующей нормальную осанку, изготовленной на основе композитов.

Список литературы / References

1. Потапчук А.А.. Осанка и физиологическое развитие детей / М.Д. Дидур, А.А. Потапчук.- СПб.: Речь, 2001.- 166 с.
2. Бикбулатова А.А. Разработка детской одежды, формирующей нормальную осанку у детей младшего школьного возраста / А. А., Бикбулатова, Р.Ф. Каюмова // Швейная промышленность – 2006. -№ 4. – С. 45-46.
3. Каюмова Р.Ф. Использование композиционных материалов для изготовления социально-значимой одежды / Р.Ф. Каюмова // Международный научно-исследовательский журнал – 2015. - № 5-2(36). – С. 71-72.
4. Каюмова Р.Ф. Социально-ориентированный маркетинг на малых предприятиях индустрии моды / Р.Ф. Каюмова // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие современной науки». - Уфа: РИЦ БашГУ - 2014. – С. 265-267.
5. Установка для измерения величины давления корректирующих элементов одежды на тело человека [Текст]: патент № 68250 на полезную модель Рос. Федерации: МПК A 41C100, A 61F 502 / Гирфанова Л.Р., Бикбулатова А.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимская государственная академия величины давления корректирующих элементов - № 2007126244/22; заявл. 18.12.00, опубл. 20.08.02, Бюл. 24.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Potapchuk A. A. Osanka i fiziologicheskoe razvitiye detej [The Posture and physiological development of children] / M. D. Didur, A. A. Potapchuk // Sankt-Peterburg: Rech – [SPb.: Speech]. - 2001.- 166 P. [in Russian]
2. Bikbulatova A.A. Razrabotka detskoj odezhdy, formirujushhej normal'nuju osanku u detej mldashego shkol'nogo vozrasta [The designing of clothing, forming a normal posture of children of primary school age] / A. A. Bikbulatova, R. F. Kayumova // Shvejnaja promyshlennost' [Sewing industry] – 2006. - No. 4. – P. 45-46. [in Russian]
3. Kayumova R. F. Ispol'zovanie kompozicionnyh materialov dlja izgotovlenija social'no-znachimoj odezhdy [The Usage of composite materials for the manufacture of socially significant clothing] / R. F. Kayumova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal] – 2015. - № 5-2(36). – P. 71-72. [in Russian]
4. Kayumova R. F. Socially-oriented marketing for small businesses in the fashion industry /R. F Kayumova // Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnoe razvitiye sovremennoj nauki». [Collected articles of International scientific-practical conference "Innovation development of modern science."] - Ufa: RIC BashGU [Ufa: RITS Bashgu]. - 2014. –P. 265-267. [in Russian]
5. Ustanovka dlja izmerenija velichiny davlenija korrigirujushhih jelementov odezhdy na telo cheloveka [Tekst], patent № 68250 na poleznuju model' Ros. Federacii [A device for measurement of the pressure correcting elements of clothing on the human body [Text]: patent No. 68250 utility model Russian Federation] MPK A 41C100, A 61F 502 / Girfanova L.R., Bikbulatova A.A.; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO Ufimskaja Gosudarstvennaja Akademija [Applicant and patentee of the GOU VPO Ufa state Academy of Economics and service] - № 2007126244/22; zajavl. [Declared] 18.12.00, opubl. [Published] 20.08.02, Bjulju. [Bulletin] 24



Научная электронная библиотека
LIBRARY.RU

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 инструментарий *ScienceIndex*.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.181

Керученко Л.С.¹, Даманский Р.В.²

¹ORCID: 0000-0002-4969-0343, кандидат технических наук, доцент,

²ORCID: 0000-0002-3663-3630, аспирант,

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина

ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНЫХ ФОРСУНОК НА ПРОЦЕСС ВПРЫСКА ТОПЛИВА

Аннотация

В статье приведен анализ результатов экспериментов для выявления возможных дефектов распылителей форсунки, от которых зависит эффективность работы дизельного двигателя. Описан процесс эксплуатации форсунок, приведены причины износа и так же их влияние на технические и экономические показатели дизеля. Рассмотрен анализ отказов распылителей, проведенный ГОСНИТИ. В данный анализ включены факторы, влияющие на изменение качества работы форсунки и на процесс впрыска. Описаны виды отказов и их связь с физико-химическими свойствами используемых топлив.

Ключевые слова: форсунка, гидравлическая плотность, распылитель, фактическая поверхность контакта, игла, корпус, уплотняющее сопряжение, деформация, износ, топливо.

Keruchenko L.S.¹, Damanskiy R.V.²

¹ORCID: 0000-0002-4969-0343, PhD in Engineering,

²ORCID: 0000-0002-3663-3630, postgraduate student,

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

INFLUENCE OF FAULTS IN DIESEL INJECTION NOZZLES ON THE PROCESS OF INJECTION

Abstract

The article summarizes the results of experiments aimed at the detection of possible defects in injection nozzles which influence the efficiency of a diesel engine. The paper discusses the process of operation of the injector, the reasons of its wearing out as well as the impact on the technical and economic performance of the diesel engine. The article considers the failures of dispensers provided by GOSNITI. The analysis includes the factors affecting changes in the quality of work of the nozzle and the operation of the injector. We describe types of failure and their relationship with physical and chemical properties of fuels used.

Keywords: nozzle, hydraulic density, dispenser, actual contact surface, needle, body, sealing conjunction, deformation, wearing out, fuel.

Современное двигателестроение развивается по пути форсирования дизелей в таких параметрах, как среднее эффективное давление, частота вращения коленчатого вала двигателя и снижение вредных веществ при выбросе отработанных газов. Это направление связано с повышением требований к топливной аппаратуре дизелей, обеспечивающей давление впрыскивания топлива и, в частности, основного элемента форсунки - распылителя. Возникающие при этом высокие механические, гидродинамические и тепловые нагрузки, действующие в прецизионных сопряжениях, недостаточные смазывающие свойства и коксование топлива его плохая фильтрация приводят к существенному снижению эксплуатационных параметров и ресурса распылителей форсунок [1,2]. Для обоснования требований, относящим к дизельному топливу и совершенствованию конструкционных особенностей распылителей форсунок следует уяснить факторы, вызывающие те или иные повреждения распылителей форсунок и влияние этих дефектов, эксплуатационные параметры форсунок.

Дизельные двигатели являются основным энергетическим средством тракторов, комбайнов и другой техники, используемой в АПК России. Низкий ресурс распылителей форсунок требует проведения исследований, для обеспечения ресурса распылителей, сопоставимого с ресурсом других элементов форсунки.

И поэтому информация о дефектах распылителей форсунок и их влияние на работоспособность двигателя является исходной при решении задачи повышения ресурса распылителей, и всегда востребованной.

Анализ отказов распылителей форсунок, проведенный ГОСНИТИ [1] (рисунок 1), показывает, что отказы распылителей однотипны, однако распределение отказов у разных типов двигателей различно, что связано с конструктивными особенностями распылителя. Неисправность работы распылителей, тем или иным образом связана, с физико-химическими свойствами, используемых топлив.

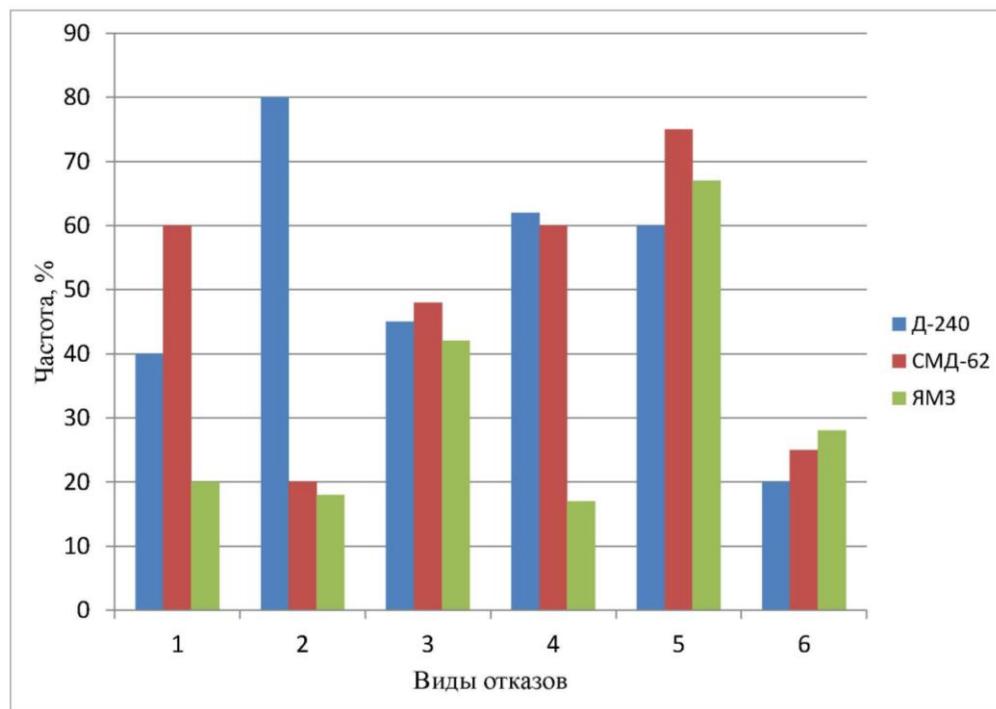


Рис. 1 – Виды отказов распылителей форсунок:

- 1 – нарушение подвижности иглы; 2 – ухудшение качества распыла; 3 – нарушение герметичности;
- 4 – изменение гидравлической плотности; 5 – износ в сопловых отверстиях;
- 6 – изменение размеров распыливающих отверстий

На рисунке 2 показаны характерные причины, связанные с качеством дизельного топлива, вызывающие отказы распылителей форсунок. Причины отказов разнообразны (рисунок 2). В цилиндрическом направляющем прецизионном сопряжении происходит износ поверхности иглы (её направляющей), по диаметру d_H и корпуса d_K , что способствует увеличению зазора, происходит нагарообразование на поверхностях деталей, что приводит к сужению зазора и нарушению подвижности иглы. В уплотняющем прецизионном сопряжении, под ударным воздействием иглы деформируются поверхностные слои посадочного гнезда корпуса и иглы. При воздействии высоких температур и прорыв газов происходит закоксовывание в отверстиях, а значит уменьшается их размеров и изменяется форма. [3]

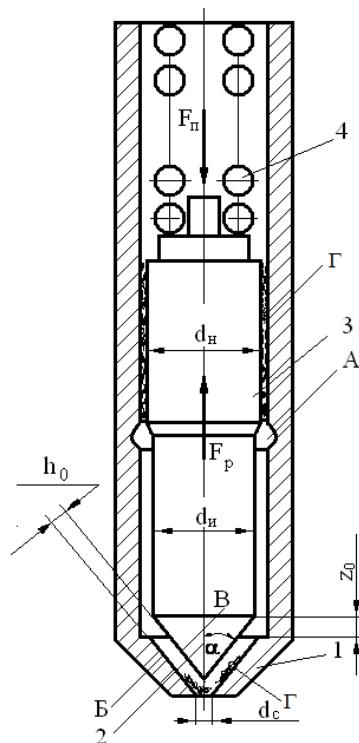


Рис. 2 – Места нарушений, влияющие на параметры работы форсунок:

- А – полость подвода топлива; Б – Поверхность контакта седла и иглы соответственно; Г – отложение нагара;
- 1 – корпус распылителя; 2 – запорный конус распылителя; 3 – направляющая часть иглы распылителя;
- 4 – пружина форсунки

Износ направляющего прецизионного сопряжения и образование нагара на поверхностях деталей приводят к изменению исходных геометрических параметров деталей. При отсутствии нагарообразования в прецизионном сопряжении имеется зазор, который образуется случайным совпадением максимальных выступов механически обработанных деталей. При большом зазоре уменьшается цикловая подача топлива и угол опережения впрыскивания топлива, снижается гидравлическая плотность, а также уменьшается давление начала впрыска. При эксплуатации в дизеле со временем снижается давление при впрыскивании топлива форсунками в результате приработки поверхностей контакта деталей и потери упругости пружины. Наиболее интенсивное уменьшение давления происходит в течение первых 1000 мото-час. работы новой форсунки. В дальнейшем наблюдается более замедленное падение давления начала впрыскивания топлива. В результате экспериментальных исследований [3] установлено, что при отклонении давления начала впрыскивания от номинального значения на 6,0-7,0 МПа расход топлива возрастает на 20-25 %. Микрометрирование деталей форсунок, поступивших в ремонт показал, что основными причинами падения давления начала впрыскивания топлива у форсунок являются:

- износ пружины(чаще всего её крайних витков);
- износ сферической поверхности штанги, контактирующей с хвостовиком иглы распылителя;
- износ сопрягаемой опорной поверхности регулировочного винта;
- износ запирающего конуса корпуса распылителя.

Результаты полученных закономерностей дают рекомендации о необходимости проверки форсунок примерно через 500 мото-час. наработки и, так же необходимо, производить регулировки давления начала впрыскивания топлива. [2]

Распыливающие отверстия в корпусе распылителя закоксовываются в результат физико-химических процессов, происходящих в топливе при высоких температурах в носике распылителя. На интенсивность появления твердых отложений на поверхностях деталей влияют следующие факторы:

- химический состав топлива;
- изменение величины зазора между носиком распылителя и головкой дизеля;
- дополнительные впрыскивания топлива;
- уменьшение давления под иглой распылителя.

Закоксовывание распыливающих отверстий приводит к уменьшению проходного сечения распылителей. Вследствие этого через форсунки впрыскивается меньшее количество топлива, нарушается равномерность его подачи по цилиндрам.

Износ распыливающих отверстий в корпусе распылителя. Распыливающие отверстия характеризуются значением эффективного проходного сечения (μf). Зависимость изменения (μf) распылителей от их наработки представлена на рис. 3.

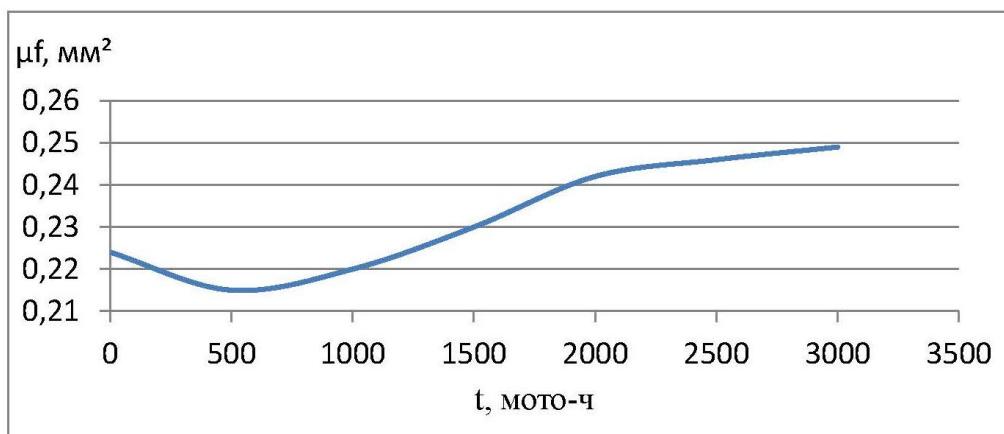


Рис. 3 – Изменение эффективного проходного сечения в зависимости от наработки

Анализ изменения μf в зависимости от наработки позволяет предположить, что на начальном этапе эксплуатации форсунок (примерно до 1500 мото-час.) значение проходного сечения распылителей уменьшается вследствие коксования распыливающих отверстий из-за наличия в топливе абразивных частиц. В результате увеличивается диаметр распыливающих отверстий, и повышается значение проходного сечения.

Негерметичность распылителя по запирающему конусу возникает вследствие гидроабразивного воздействия топлива. Твердые механические частицы, проникая вместе с топливом под иглу распылителя, вызывают образование рисок на поверхностях запирающего конуса иглы распылителя. Вследствие повышенного изнашивания этих поверхностей нарушается герметичность распылителя по запирающему конусу. [4]

В прецизионной паре «игла распылителя - корпус распылителя» величина зазора между сопрягающимися цилиндрическими поверхностями составляет 2,5-6,0 мкм. Такое конструктивное исполнение обеспечивает подвижность иглы распылителя в корпусе и гидроплотность распылителя.

Изменение зазора во время эксплуатации происходит посредством гидроабразивного изнашивания поверхностей корпуса и иглы распылителя. Износ обусловлен влиянием механических частиц, находящихся в топливе. Результатом этого является повышение утечки топлива в зазор между иглой и корпусом распылителя. [4]

Динамика изменения гидроплотности распылителей (ГП) в зависимости от наработки представлена на рис. 4.

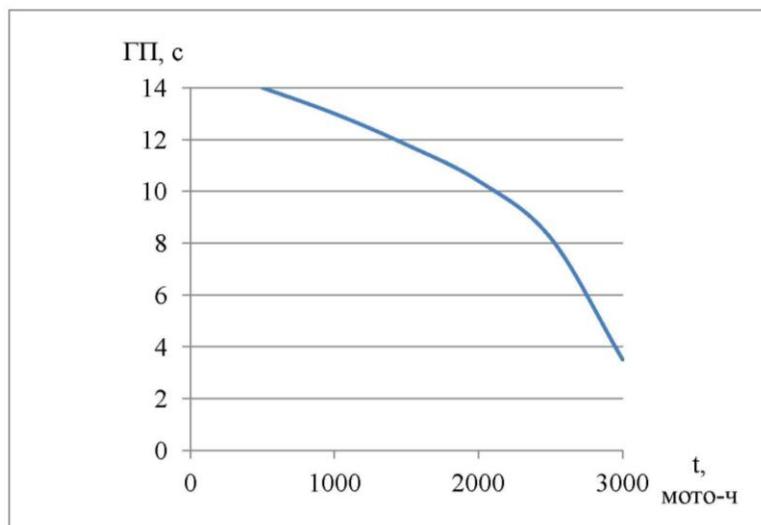


Рис. 4 – Изменение гидравлической плотности в зависимости от наработки

Подвижность иглы оценивается качеством распыливания топлива. Зависание иглы распылителя может происходить в результате попадания мелких механических частиц. Это приводит к отсутствию впрыска топлива в цилиндры двигателя, в результате частота вращения коленчатого вала резко снижается, а в топливной системе образуются высокие давления, которые могут вызвать разрушения в деталях топливного насоса. [5]

Увеличение хода иглы распылителя. С целью обеспечения идентичности показателей впрыскивания в конструкциях форсунок жестко регламентируется ход иглы распылителя. Максимальный ход иглы распылителей тракторных дизелей колеблется в пределах 0,2-0,45 мм. Важным параметром распылителя форсунки является его гидравлическая характеристика, т.е. зависимость эффективного проходного сечения распылителя от хода иглы и распылителя. [1]

В процессе эксплуатации форсунок ход иглы распылителя увеличивается, что обусловлено износом корпуса форсунки в месте соприкосновения с запорным конусом.

Таким образом, основной элементом форсунки, техническое состояние которого существенно снижает технико-экономические показатели дизеля, является распылитель. С возрастанием наработки распылителей эксплуатационная мощность двигателя снижается и для стабилизации технико-экономических показателей двигателя необходимо произвести замену или ремонт распылителей форсунок.

Список литературы / References

1. Трелин А.А. Основные показатели технического состояния форсунок - давление начала впрыска, качество распыливания топлива, герметичность и пропускная способность / А.А. Трелин, К.В. Трелина // Труды ГОСНИТИ. – 2007. Т. 99. – С. 61-63.
2. Файнлейб Б. Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / Б. Н Файнлейб. // Справочное издание. Ленинград 1990. —352с.
3. Зеленихин А.И. Исследование процесса коксования сопловых отверстий распылителей при работе дизеля на бензодизельной смеси / А.И. Зеленихин. // – Ленинград: ОНТИ ЦНИТА, 1966. – Вып.29. – С.6-12.
4. Кукис В. С. Стабилизация регулировочных параметров форсунок форсированных дизелей / В.С. Кукис, В.А. Романов // Тр. Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. - Москва: Академия наук о земле, 2005. - С. 110-111.
5. Лаврик А. Н. Анализ факторов, влияющих на закоксовывание сопловых отверстий распылителей топливных форсунок дизелей / А. Н. Лаврик, А. С. Теребов, В.Е.Лазарев // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин. – Челябинск: ЧВАИ, 2001.- С. 31-37.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Trelina A. A. Osnovnye pokazateli tekhnicheskogo sostoyaniya forsunok - davlenie nachala vpryska, kachestvo raspylivaniya topliva, germetichnost' i propusknaya sposobnost' [Key indicators of the technical state of nozzles - Pressure the beginning of injection, fuel atomization quality, integrity and bandwidth] / A. A. Trelina, K. V. Trelina // Proceedings GOSNITI. -2007. T. 99. - P. 61-63. [in Russian]
2. Fainleib B. N. Toplivnaya apparatura avtotraktornykh dizelej [Fuel equipment automotive diesel] / B.N. Fainleib. // Reference book. Leningrad 1990. -352s. [in Russian]
3. Zelenikhin A. I. Issledovanie processa koksovaniya soplovyh otverstij raspylitelej pri rabote dizelya na benzodizel'noj smesi [Investigation of the process of coking spray nozzles when operating on diesel benzodizelnoy mixture] / A. I. Zelenikhin. // - Leningrad: ONTI CNIT, 1966. - Vyp.29. - S.6-12, [in Russian]
4. Cookies V. S. Stabilizaciya regulirovochnyh parametrov forsunkov forsirovannyh dizelej [Stabilization control parameters nozzles forced diesel engines] / V. S. Cookies, V. A. Romanov // Tr. International Forum on the issues of science, technology and education. - Moscow: Academy of Earth Sciences, 2005. - P. 110-111. [in Russian]
5. Lavrik A. N. Analiz faktorov, vliyayushchih na zakoksovyanie soplovyh otverstij raspylitelej toplivnyh forsunkov dizelej [Analysis of factors affecting the coking of nozzles spray the fuel injectors of diesel engines] / A. N. Lavrik, A. S. Terebov, V. E. Lazarev // Improved propulsion wheeled and tracked vehicles. - Chelyabinsk: CHVAI, 2001.- pp 31-37. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.093

Коваленко Д.В.¹, Киселёв Б.Ю.¹, Плотников Д.И.², Шакенов Е.Е.², Кулинич И.О.²

¹Ассистент, ²студент,

Омский государственный технический университет

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация

В статье рассматривались негативные последствия влияния высших гармоник (ВГ) на различные элементы системы электроснабжения (СЭС) и источники ВГ в электрических сетях.

Также в статье рассмотрены осциллограммы токов всех трех фаз СЭС с подключенной к ней нелинейной нагрузкой. На осциллограммах цветами обозначены токи фаз: желтым – ток фазы А, зеленым – фазы В, красным – фазы С. Исследование велось для двух случаев: при отсутствии пассивных фильтров гармоник и при наличии фильтров. Сделаны выводы о работе сети с помощью полученных осциллограмм токов.

Ключевые слова: система электроснабжения, высшие гармоники, фильтры гармоник, качество электрической энергии.

Kovalenko D.V.¹, Kisselyov B.Yu.¹, Plotnikov D.I.², Shakenov Y.Y.², Kulinich I.O.²

¹Assistant, ²Student,

Omsk State Technical University

THE CALCULATION METHOD OF PASSIVE FILTERS TO COMPENSATE HIGHER HARMONICS CURRENT IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Abstract

The article describes the negative consequences from the influence of higher harmonics of the various elements of the power supply system and sources of higher harmonics in electric networks.

The article describes the waveforms of the currents of all three phases of the power supply system with connected nonlinear load. On the waveform the colors stand for the phase currents: yellow current of phase A, green phase B red phase C. The study was conducted for two cases: in the absence of passive harmonic filters and when filters. The findings of the network through the received waveform currents.

Keywords: power supply system, higher harmonics, harmonic filters, the quality of electric power.

В настоящее время существует проблема негативного воздействия ВГ на различные элементы СЭС. Актуальность такой проблемы уже не ставится под сомнение, так как нелинейные нагрузки получили повсеместное распространение, которые ухудшают показатели качества электроэнергии. Не подвергается никакому сомнению, что ВГ влияют не только на какие-либо элементы СЭС в отдельности, но и на всю СЭС при её рассмотрении целиком. ВГ способны вызвать дополнительные потери активной мощности в линиях электропередач (ЛЭП); нагрев проводов воздушных, а также нагрев металлических жил и изоляции кабельных ЛЭП (КЛЭП); способны уменьшить пропускную способность ЛЭП и снизить устойчивость нагрузки в узлах СЭС. Также они создают чрезмерный нагрев с последующим выходом из строя нулевых рабочих проводников КЛЭП вследствие перегруза линий токами ВГ, кратных трем. Кроме того, присутствие ВГ в СЭС приводит к повышенному нагреву (и, следовательно, износу) электрических машин, батарей статических конденсаторов (БСК), которые перегружаются и выходят из строя, возникают условия для неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики, происходит отказ электронной аппаратуры и увеличивается погрешность учета электроэнергии. Вышеуказанные проблемы были освещены в статьях и других научных работах, таких как [1–4]. Коллектив авторов работы [3] выполнил расчет потерь мощности и энергии в КЛЭП при наличии нелинейной нагрузки в СЭС. При изучении этой работы можно сказать, что потери мощности и энергии в присутствии токов ВГ в сети достаточно высоки и их необходимо снижать. Добиться ощутимого снижения потерь можно при применении специальных фильтров ВГ.

Существует большое количество источников ВГ. Их можно отнести к одной из трех групп:

1. Силовые электронные устройства, частотнорегулируемый электропривод, системы бесперебойного питания, преобразовательные установки различного назначения, импульсные источники питания, индукционные печи, устройства FACTS, СТАТКОМ и т.п.

2. Установки, в рабочем режиме которого возникает электрическая дуга: дуговые сталеплавильные печи, сварочное оборудование и системы освещения со светодиодными и ртутными лампами.

3. Устройства, магнитопровод которых может перейти в состояние насыщения (все электрические машины). Если оборудование не переходит в такой режим, то амплитуды гармоник, возникающие при работе этих электрических машин пренебрежимо малы по сравнению с гармониками, возникающими при работе сварочных установок и силовых преобразователей.

В данной работе рассматривается возможность подавления токов ВГ в СЭС.

К секции шин 0,4 кВ (рис.1) при помощи коммутационных аппаратов SF₁ и SF₂ подключаются две нагрузки: линейная и нелинейная. Линейной нагрузкой будем считать асинхронный двигатель (нагрузка S на схеме), а нелинейной – шестипульсный преобразователь (нагрузка В на схеме).

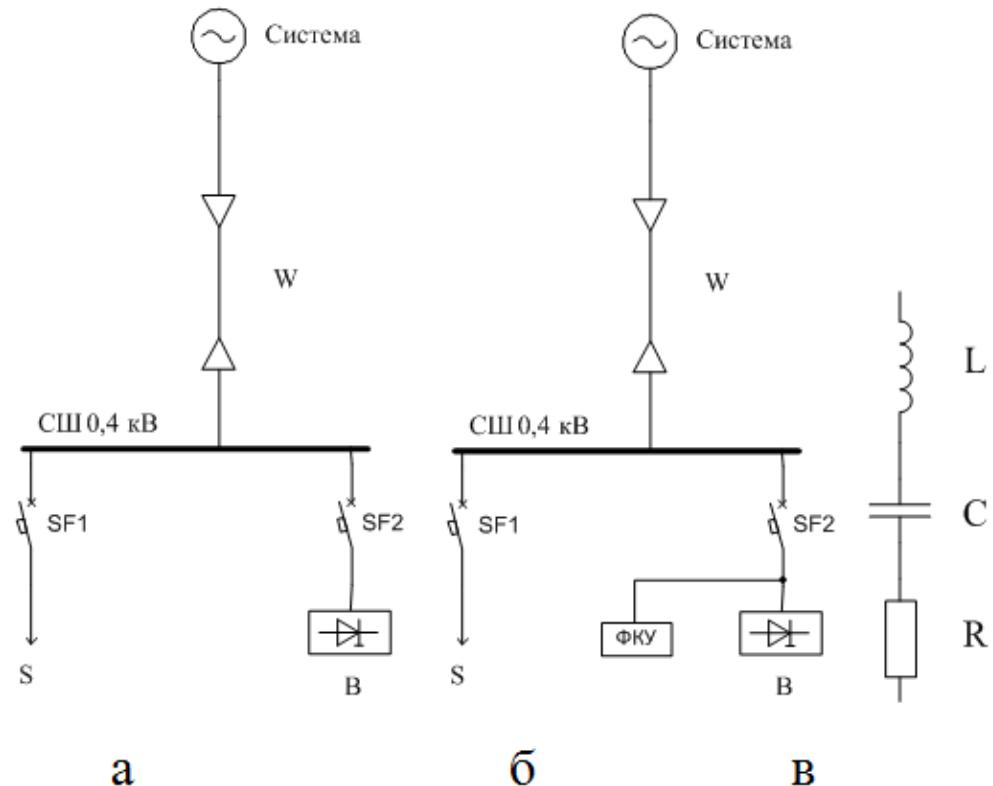


Рис. 1 – Схема СЭС (а), схема СЭС с фильтром ВГ (б), упрощенная схема замещения фильтра (в)

В программе «MATLAB-Simulink» была разработана имитационная математическая модель, соответствующая рассматриваемой СЭС. Полученная модель СЭС приведена на рис. 2. (Обратим внимание, что работа шестипульсного преобразователя имитируется источниками тока с частотами генерации 250 и 350 Гц, соответствующих 5 и 7 гармоникам.) Для визуальной фиксации сигнала трехфазного тока, протекающего в системе, предусмотрен осциллограф I (рис.3).

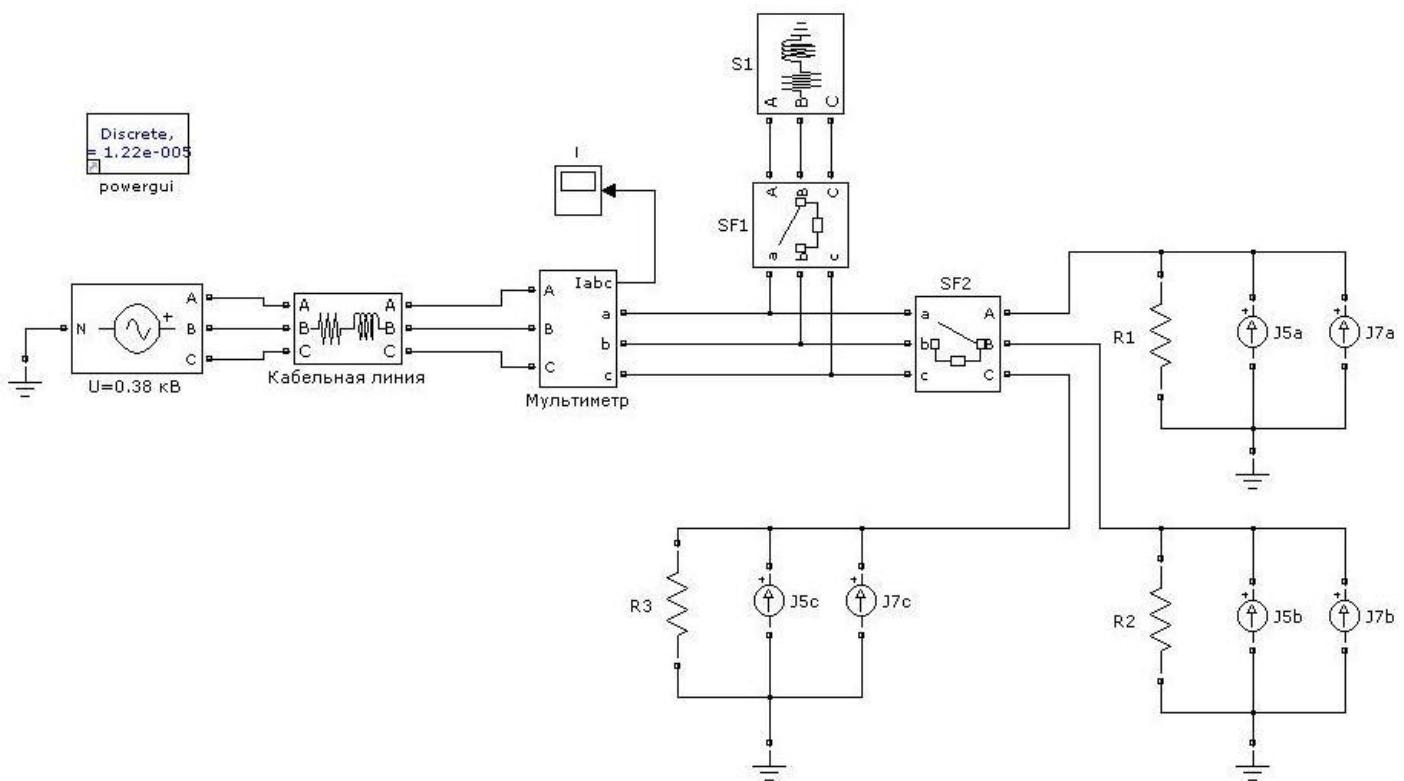


Рис. 2 – Модель СЭС, выполненная в приложении Simulink (при отсутствии фильтра ВГ)

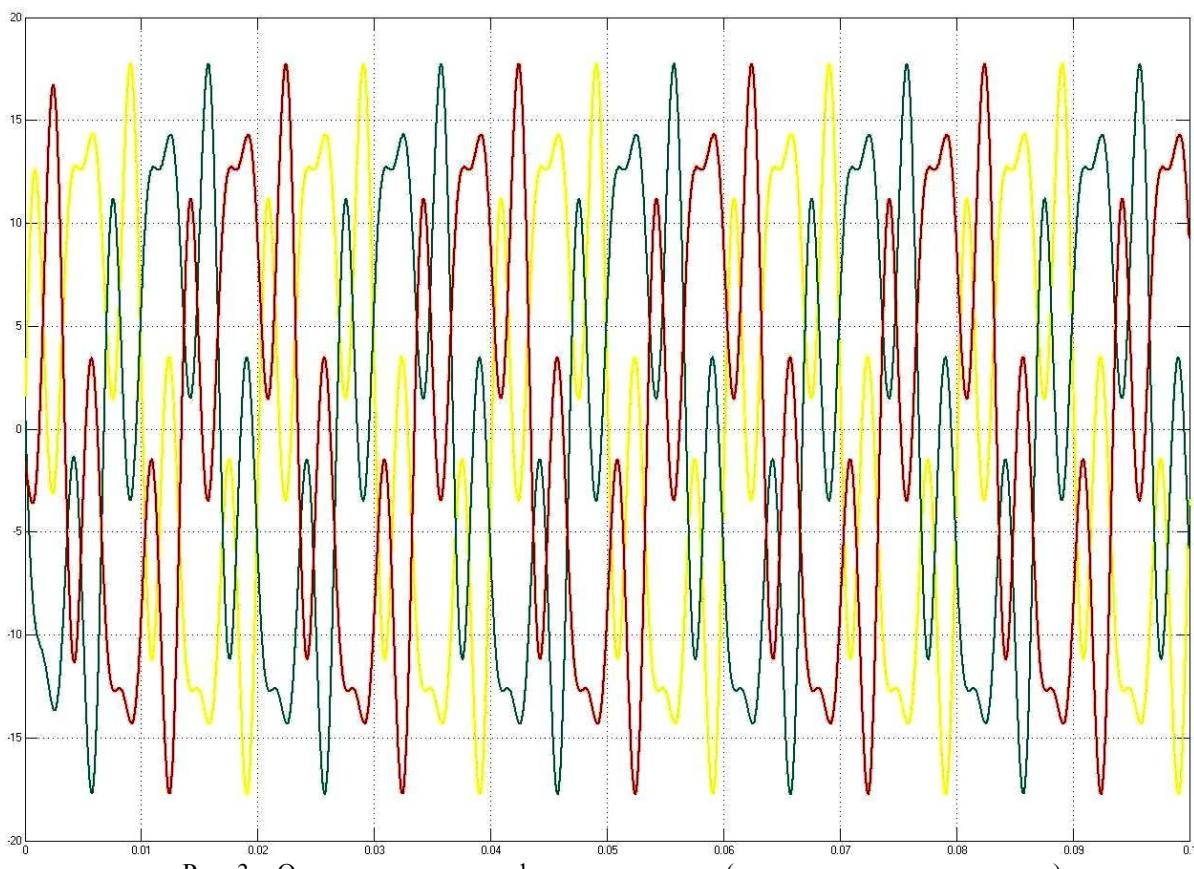


Рис. 3 – Оциллограмма трехфазного тока сети (с искажениями кривых тока)

Из рассмотрения осциллограммы следует, что ток, проходящий через элементы СЭС, содержит в себе не только основную (50 Гц) гармонику, но и высшие гармоники. Следовательно, для уменьшения потерь мощности и энергии в элементах СЭС имеет смысл установить параллельно источнику ВГ фильтры гармоник, которые ослабляют их (рис. 1б). На рис. 1в приведена схема замещения простейшего фильтра, состоящего из дросселя (катушки индуктивности L), БСК (емкость C) и активного сопротивления R (оно имитирует потери активной мощности в фильтре, в качестве упрощения примем 0,01 Ом). В усложненном виде рассмотренная нами конструкция превращается в фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ). ФКУ представляет собой БСК с фильтром гармоник. В этом случае ФКУ выполняет не только компенсацию реактивной мощности в СЭС, но и подавляет ВГ. Каждый блок ФКУ настраивается на частоту определенной гармоники (резонансный режим) и работает как поглотитель, преобразуя токи ВГ в тепло, выделяемое на реактивных элементах фильтра. Последнее обстоятельство нам говорит о том, что необходимо принимать во внимание следующее: 1) нелинейная нагрузка генерирует определенный спектр гармоник, который необходимо учитывать; 2) фильтр должен иметь столько же секций, сколько ВГ вырабатывается нагрузкой. В рассматриваемом случае роль нелинейной нагрузки играет шестипульсный преобразователь, который генерирует 5 и 7 гармоники. Иными словами, для корректной работы проектируемого фильтра мы должны выполнить расчет параметров фильтра для подавления этих гармоник. При эксплуатации СЭС (раздельное включение секций фильтра) необходимо подключать секции с ростом частоты подавляемых гармоник, отключать – в обратной последовательности.

Для того, чтобы рассчитать параметры секции фильтра (элементы L и C), воспользуемся методикой [5]. Однако, непосредственное применение такой методики вызывает трудности, так как в этой методике не приведена связь реактивной мощности БСК с её емкостью. Эту связь отражает следующая формула:

$$C_n = \frac{Q_{En}}{U_{\phi}^2 \cdot 2\pi f n},$$

где

Q_{Kn} – реактивная мощность, вырабатываемая БСК на n-й гармонике, вар,

C_n – емкость БСК на n-й гармонике, Ф,

U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В,

f – частота сети, Гц,

n – номер гармоники.

В качестве примера рассчитаем секцию фильтра для подавления 5 гармоники тока.

Амплитудное значение тока 5 гармоники преобразователя: $I_{5m} = 7$ А. Тогда действующее значение тока

$$\text{вычислим по формуле: } I_5 = \frac{I_{5m}}{\sqrt{2}} = 4,95 \text{ А.}$$

Затем найдем мощность БСК на фазу: $Q_{e5} = 1,3 \cdot U_{\phi} \cdot I_5 = 1415,7$ вар.

Определяем емкость БСК: $\tilde{N}_5 = \frac{Q_{\hat{\epsilon}5}}{U_{\hat{\delta}}^2 \cdot 2\pi fn} = 18,621 \text{ мкФ}$.

Зная емкость БСК, вычислим емкостное сопротивление БСК на 5 гармонике: $X_{\hat{\epsilon}5} = \frac{1}{2\pi\tilde{N}_5fn} = 34,188 \text{ Ом}$.

Исходя из условия резонанса $X_C = X_L$, находим индуктивность секции фильтра (L): $L_5 = \frac{X_{\hat{\epsilon}5}}{2\pi fn} = 21,765 \text{ мГн}$.

Аналогично определяем параметры элементов секции фильтра, предназначенного для подавления 7 гармоники тока (амплитудное значение тока 7 гармоники: $I_{7m} = 5 \text{ А}$).

Подведем итог и приведем параметры элементов фильтра.

Для 5 гармоники: $L_5=21,765 \text{ мГн}, C_5=18,621 \text{ мкФ}$.

Для 7 гармоники: $L_7=21,739 \text{ мГн}, C_7=9,512 \text{ мкФ}$.

На основании полученных значений параметров элементов фильтра была создана математическая модель, имитирующая работу такого фильтра. Модель приведена на рис. 4, а осциллограмма токов в фазах А, В и С – на рис.5.

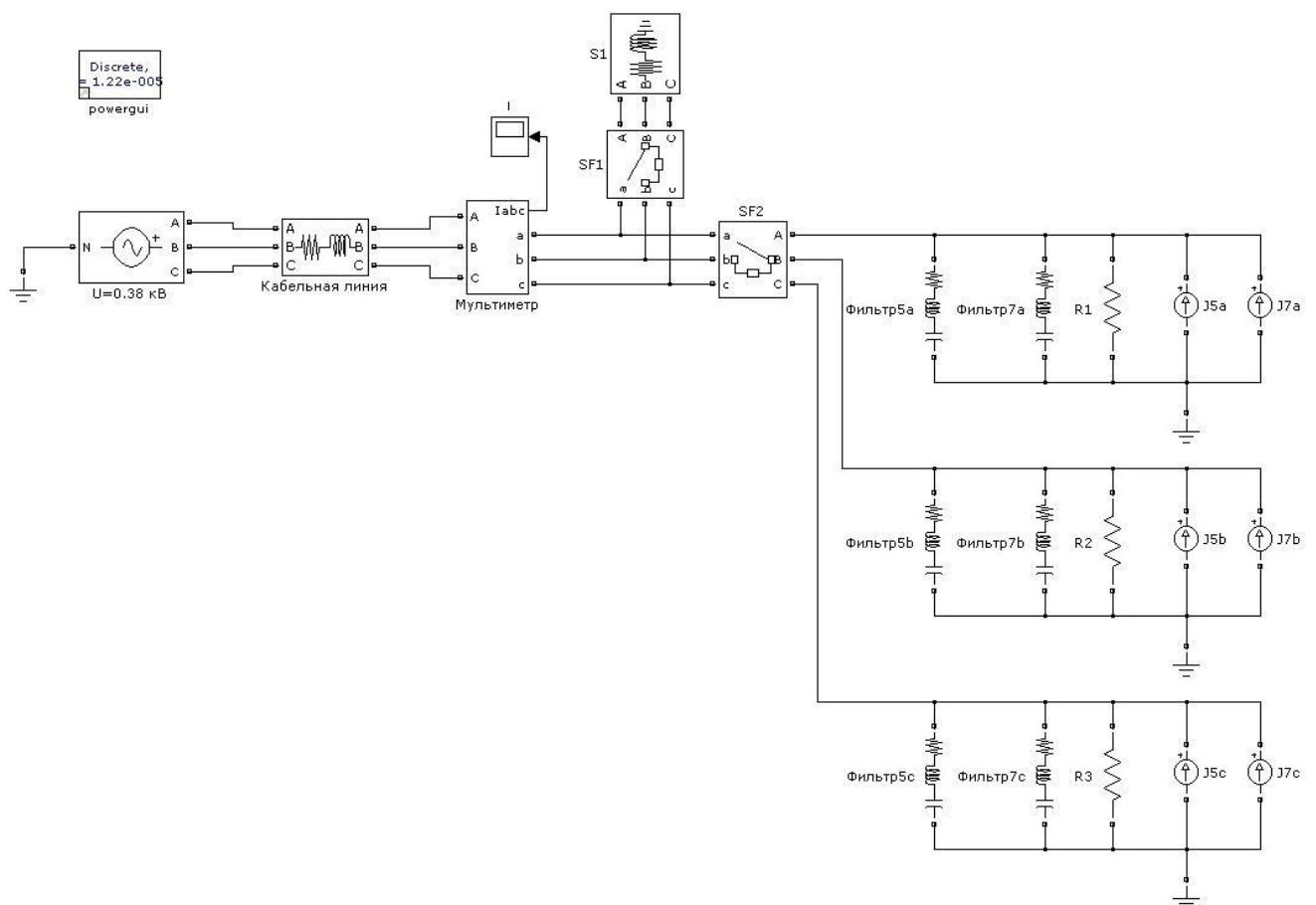


Рис. 4 – Модель СЭС (с учетом фильтра ВГ)

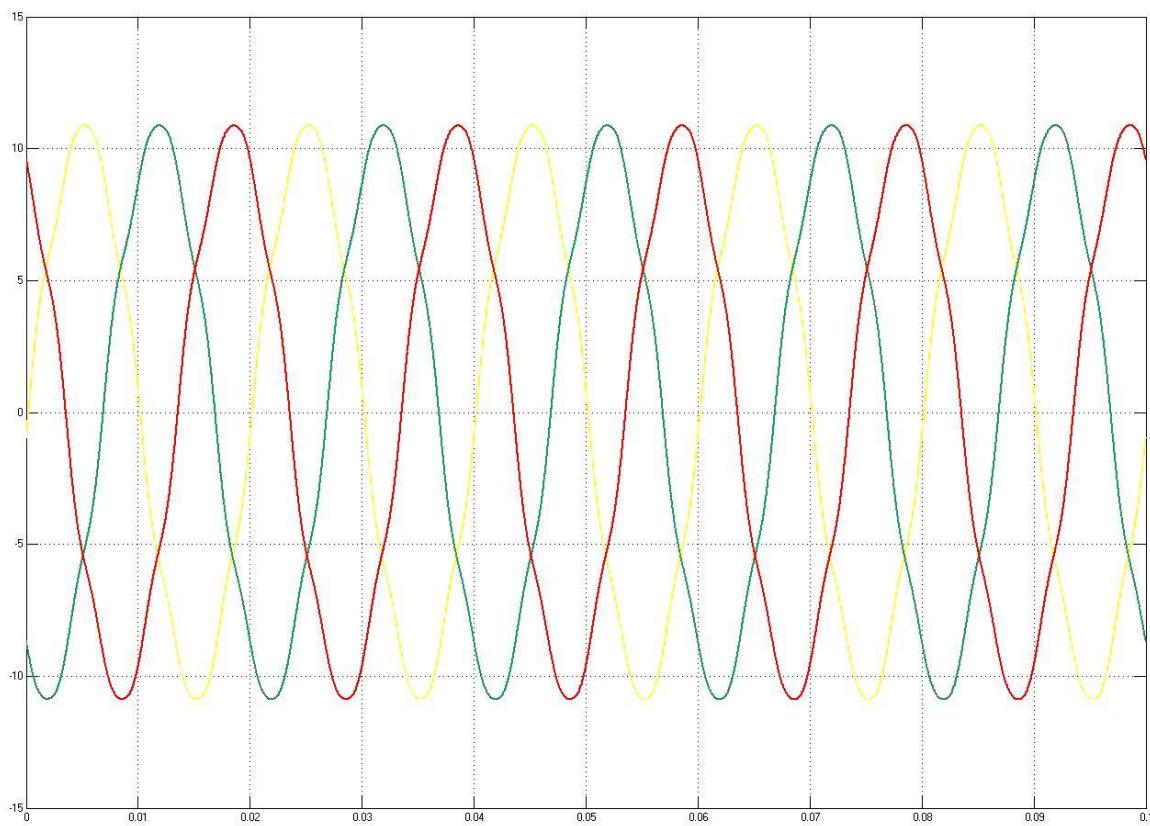


Рис. 5 – Осциллограмма фазных токов СЭС (при включенном фильтре)

Рассматривая полученную осциллограмму фазных токов, можно отметить, что токи ВГ в нашей сети практически отсутствуют. Об этом нам говорят кривые тока, которые имеют форму очень близкую к синусоиде. Также улучшаются и другие показатели качества электрической энергии, и, кроме того, уменьшаются потери мощности и энергии в элементах СЭС.

При применении описанной методики можно произвести расчет параметров фильтра для подавления любой из ВГ тока.

Список литературы / References

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000 – 331 с.
2. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, М. Томпсон; пер. с англ. А. Н. Рабодзея. – М.: Издательский дом «Додэка – ХХI», 2008. – 333 с.
3. Осипов, Д. С. Расчет потерь энергии в кабельной линии электропередачи при наличии нелинейной нагрузки методом пакетного вейвлет-преобразования / Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселев // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2016. – № 4 (148). – С. 84-89.
4. Шидловский, А. К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин. – Киев: Наукова Думка, 2005. – 211 с.
5. Лукутин, Б. В. Силовые преобразователи в электроснабжении. Расчет режимов работы выпрямителя: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов спец. 140211 «Электроснабжение» ИДО / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев.– Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 28 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhezhelenko, I. V. Vysshie garmoniki v sistemah jeklektrosnabzhenija prompredpriyatij [Higher harmonics in power supply systems of industrial enterprises] / I. V. Zhezhelenko – M.: Jenergoatomizdat, 2000 – 331 p. [in Russian]
2. Kusko, A. Kachestvo jenergii v jeklektricheskikh setjakh [The quality of energy in electrical networks] / A. Kusko, M. Tompson: per. s angl. A. N. Rabodzeja. – M.: Izdatel'skij dom «Dodgeka – XXI», 2008. – 333 p. [in Russian]
3. Osipov, D. S. Raschet poter' jenergii v kabel'noj linii jeklektroperedachi pri nalichii nelinejnoj nagruzki metodom paketnogo vejvlet-preobrazovaniya [Calculation of energy losses in the cable transmission line in the presence of nonlinear load method batch wavelet transform] / D. S. Osipov, D. V. Kovalenko, B. Ju. Kiselev // Omskij nauchnyj vestnik. Ser. Pribory, mashiny i tehnologii [Omsk scientific Bulletin. Ser. Appliances, machines and technology]. – 2016. – № 4 (148). – P. 84-89. [in Russian]
4. Shidlovskij, A. K. Vysshie garmoniki v nizkovol'tnyh jeklektricheskikh setjakh [Higher harmonics in low voltage electrical networks] / A. K. Shidlovskij, A. F. Zharkin. – Kiev: Naukova Dumka, 2005. – 211 p. [in Russian]
5. Lukutin B. V. Silovye preobrazovateli v jeklektrosnabzhenii. Raschet rezhimov raboty vyprjamitelja [Power converters in the power supply. Calculation of operation modes of the rectifier]: Methodical instructions to performance of course work for students majoring 140211 «Energy Supply» IDO / B. V. Lukutin, I. O. Muravlev.– Tomsk: Izd. TPU, 2009. – 28 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.150

Корнет М.Е.¹, Раскин А.В.², Раскина А.В.³

¹ORCID: 0000-0003-4100-5644, Аспирант,

²ORCID: 0000-0002-3263-0571, Магистр,

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева,

³ORCID: 0000-0002-8161-8317, Аспирант,

Сибирский федеральный университет

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация

Рассматривается задача управления цепочкой технологических объектов в условиях непараметрической неопределенности. Среди последовательно соединенных элементов могут выступать различные типы объектов, к которым относятся динамические либо статические объекты с запаздыванием. В данном случае параметрические структуры моделей с точностью до параметров остаются неизвестными. Такая ситуация часто возникает в случае малоизученных объектов, обоснованно подобрать параметрическую структуру для которых не представляется возможным. В статье рассматривается ситуация, когда у каждого локального объекта уже имеется свой контур управления, включающий типовое устройство регулирования (П, ПИ, ПИД регуляторы). Предлагается добавить внешний контур управления, который будет корректировать задающие воздействия локальных контуров. В статье приводятся непараметрические алгоритмы управления для внешнего контура.

Ключевые слова: адаптивное управление, непараметрическая теория, последовательность технологических объектов, динамический объект, безынерционный объект с запаздыванием.

Kornet M.E.¹, Raskin A.V.², Raskina A.V.³

¹ORCID: 0000-0003-4100-5644, Postgraduate student,

²ORCID: 0000-0002-3263-0571, Undergraduate student,

Reshetnev Siberian State Aerospace University,

³ORCID: 0000-0002-8161-8317, Postgraduate student,

Siberian Federal University

NONPARAMETRIC ADAPTIVE CONTROL OF PROCESS SEQUENCE

Abstract

The article considers the task of managing a chain of technological facilities in a non-parametric uncertainty. Among the successively connected elements there might be different types of objects that are either dynamic or static objects with delay. In this case, the structure of parametric models is unknown. This situation often arises in the case of poorly known objects, it is reasonable to choose a parametric structure for which it is impossible. The article deals with the situation where each local object already has its own control loop, including a model control device (P, PI, PID controllers). It is proposed to add an external control circuit, which will adjust the set point local loops. The article presents non-parametric control algorithms for the outer loop.

Keywords: adaptive control, nonparametric theory, the sequence of technological objects, dynamic object, the instantaneous object with delay.

Задача управления сложными многомерными процессами, технологическая цепочка которых может представлять собой различные схемы производства, такие как параллельные, последовательные, или их комбинации безусловно на сегодняшний момент является актуальной для многих отраслей промышленности. В данном случае схема управления будет содержать уже не один локальный объект, а группу объектов, соединённых между собой. Следует учитывать, что при управлении цепочкой технологических объектов алгоритм регулирования общей последовательностью должен строиться таким образом, чтобы алгоритмы управления локальными объектами были согласованы между собой. На сегодняшний день разработаны многочисленные алгоритмы адаптивного управления параметрического типа [1,2]. Основной их особенностью является знание о параметрической структуре модели объекта с точностью до параметров на основании априорной информации или предварительных исследований. В условиях недостатка априорной информации одним из путей решения данной задачи является введение в схему управления непараметрического внешнего контура, который будет формировать задающие воздействия для каждого локального регулятора. Это позволит более качественно управлять всей последовательностью. В статье приводятся адаптивные непараметрические алгоритмы определения задающих воздействий для внешнего контура управления.

Постановка задачи. Для дальнейшего нам необходим анализ следующей блок-схемы (рис.1).

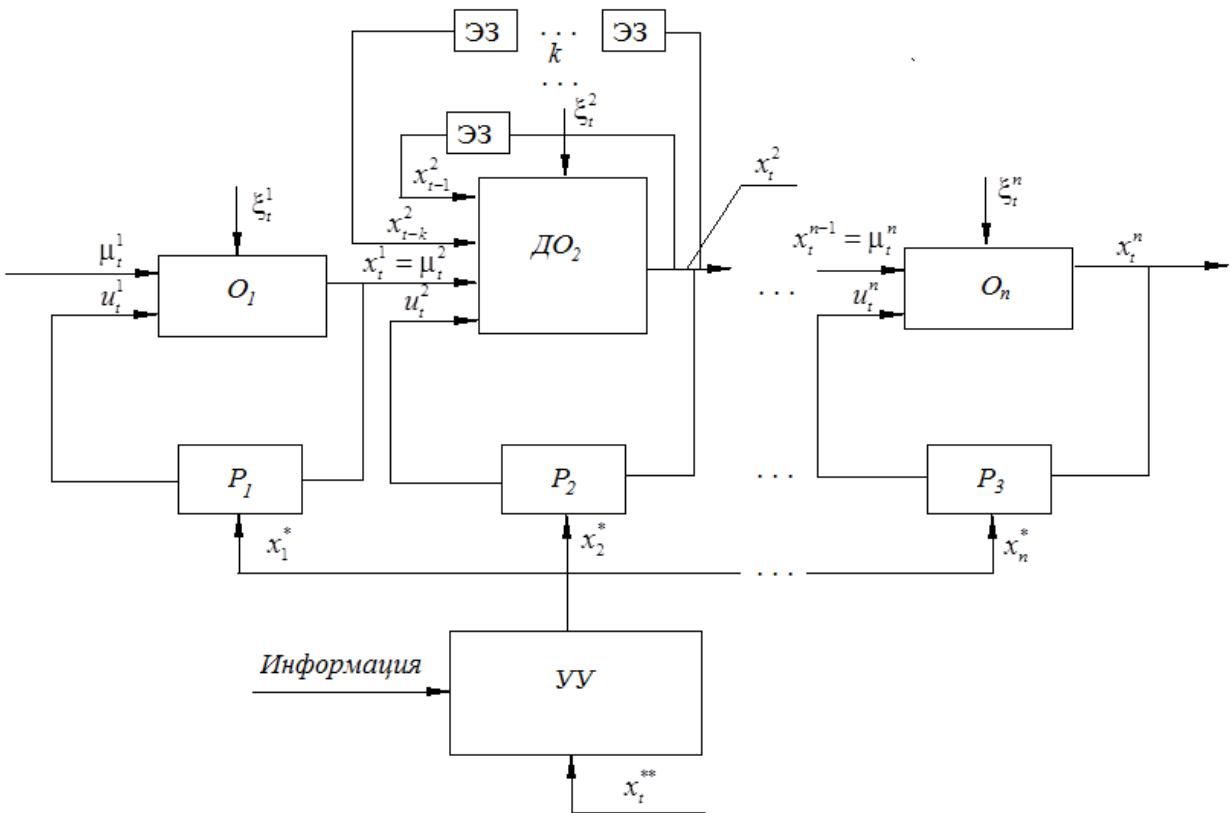


Рис. 1 – Схема двухконтурного управления последовательностью технологических процессов

На рисунке 1 приняты обозначения: $u_t^1, u_t^2, \dots, u_t^n$ - входные управляемые воздействия, $\mu_t^1, \mu_t^2, \dots, \mu_t^n$ - входные контролируемые, но не управляемые воздействия, $x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^n$ - выходные воздействия, O_1, \dots, O_n - локальные безынерционные объекты с запаздыванием, ΔO_2 - динамический объект, $\mathcal{ЭЗ}$ - элемент запаздывания, $x_{t-1}^2, \dots, x_{t-k}^2$ - выходные воздействия динамического объекта, запаздывающие на соответствующее число шагов, P_1, P_2, P_3 - типовые регуляторы (П, ПИ, ПИД), $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ - задающие воздействия для локальных типовых регуляторов, УУ - устройства управления (внешний контур), *Информация* – все доступные измерения входных-выходных переменных локальных процессов $\{x_i^j, u_i^j, \mu_i^j, i = \overline{1, s}, j = \overline{1, n}\}$, x_t^{**} - задающее воздействие для внешнего контура управления, $\xi_t^1, \xi_t^2, \dots, \xi_t^n$ - внешние помехи, действующие на локальные процессы. На рисунке 1 показано, что среди локальных объектов технологической цепочки могут встречаться как динамические объекты, так и безынерционные объекты с запаздыванием. В общем случае все описанные переменные представляют собой векторы. Для простоты рассмотрим скалярный случай. Безынерционный объект с запаздыванием может быть представлен в следующем виде:

$$x_i^t = f(u_i^{t-\tau}, \mu_i^{t-\tau} = x_{i-1}^{t-\tau}, \xi_i^{t-\tau}), i = \overline{1, n-1} \quad (1)$$

где $f(\cdot)$ – неизвестный функционал, τ – запаздывание, которое по разным каналам связи может отличаться, но из соображений простоты в тексте мы приняли единное обозначение запаздывания τ . Следует заметить, что выходная переменная объекта, которая воздействует на следующий объект, по существу является неуправляемой входной переменной.

В случае динамического объекта, состояние системы в данный момент времени t зависит как от входных воздействий, так и от ее состояний в прошлом $x^{t-1}, x^{t-2}, \dots, x^{t-k}$. Другими словами, динамическая система может быть описана следующим уравнением:

$$x_i^t = f(x_i^{t-1}, x_i^{t-2}, \dots, x_i^{t-k}, u_i^t, \mu_i^t = x_{i-1}^t, \xi_i^t) i = \overline{1, n-1}, \quad (2)$$

где x_i – выходная переменная процесса, u_i - управляющее воздействие, k – «глубина» памяти динамического объекта (в терминологии А. А. Фельдбахма) [3]. Если проводить аналогию с описанием исследуемого процесса в непрерывном времени в виде дифференциальных уравнений, то k – порядок старшей производной в соответствующем уравнении. В обоих случаях существенным является то, что вид функционала $f(\cdot)$ не определен с точностью до параметров.

Задача управления сводится к разработке адаптивных непараметрических алгоритмов управления для внешнего контура. Предлагаемое устройство управления будет формировать задающие воздействия для локальных типовых регуляторов, таким образом, чтобы итоговые управляющие воздействия для локальных объектов были согласованы между собой.

Для всякого технологического процесса на производстве установлен технологический регламент, который

определяет, в каком диапазоне значений должна находиться величина той или иной переменной процесса. Для многих производств характерен довольно широкий диапазон изменения значений технологических переменных [4-5]. Рассмотрим следующую схему (рис. 2).

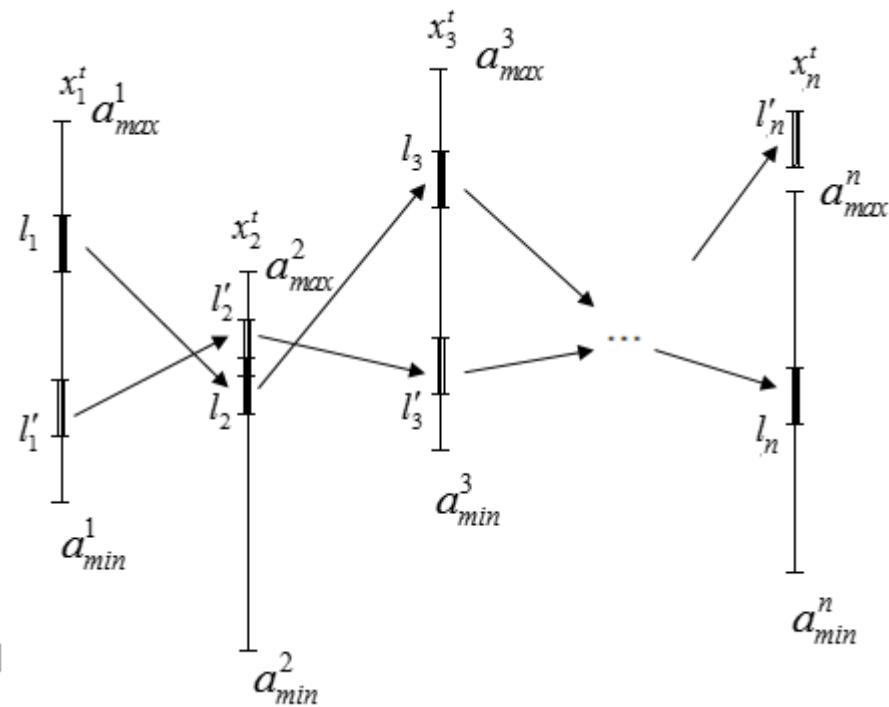


Рис. 2 – Схема ведения процесса в рамках технологического регламента

На рис. 2 приняты обозначения: $a_{\min}^i, a_{\max}^i, i = \overline{1, n}$ – минимальная и максимальная границы диапазона допустимых значений переменных, определяемые технологическим регламентом; $l_i, i = \overline{1, n}$ и $l'_i, i = \overline{1, n}$ – интервалы в рамках технологического регламента, показывающие различные варианты ведения процесса на i – тых итерациях; l''_n – требуемая область значения итоговой выходной переменной x_n^t всего технологического процесса, определяющая качество готового продукта.

На рисунке 2 изображены два варианта ведения технологического процесса $l_i, i = \overline{1, n}$ и $l'_i, i = \overline{1, n}$. В обоих случаях на всех промежуточных итерациях l_1, l_2, l_3 и l'_1, l'_2, l'_3 процесс ведется в рамках диапазона $a_{\min}^i, a_{\max}^i, i = \overline{1, n}$, то есть иными словами в рамках технологического регламента: $x_j^t \in [l_j] \subset [a_{\min}^j, a_{\max}^j]$ или $x_j^t \in [l'_j] \subset [a_{\min}^j, a_{\max}^j]$. Но, в то же время, ведение технологического процесса по траектории $l''_i, i = \overline{1, n}$ не приводит к попаданию итоговой выходной переменной x_n^t в требуемую область значений. Таким образом, можно сделать вывод, что для рационального ведения процесса представляется целесообразным осуществлять технологический процесс в соответствии со следующей схемой. Сначала нужно определить интервал l''_n – требуемую область значений переменной x_n^t , далее формировать управляющее воздействие u_{n-1}^t для локального объекта O_{n-1} таким образом, чтобы гарантированно обеспечить попадание в область l''_n . То же самое провести для оставшихся объектов O_1, \dots, O_{n-2} . Таким образом управляющее устройство должно формировать задающие воздействия x_1^*, \dots, x_n^* для локальных регуляторов начиная с конца цепочки и двигаясь в обратном направлении, каждый раз учитывая вычисленные на предыдущих шагах воздействия x_1^t, \dots, x_n^t .

Непараметрический алгоритм управления. В качестве задающего воздействия для регулятора локального безынерционного объекта O_i с запаздыванием может быть принята следующая непараметрическая оценка функции регрессии (Надара-Ватсона [6]) по наблюдениям $\{x_i, u_i, \mu_i, i = \overline{1, s}\}$ в дискретном виде [3]:

$$x_j^* = \frac{\sum_{i=1}^s x_t^j \Phi\left(\frac{x_t^{j-1} - x_i^{j-1}}{c_s^x}\right) \Phi\left(\frac{u_t^j - u_i^j}{c_s^{u^j}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_t^{j-1} - x_i^{j-1}}{c_s^x}\right) \Phi\left(\frac{u_t^j - u_i^j}{c_s^{u^j}}\right)}, j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где $\Phi(\cdot)$ – ядерная колоколообразная функция, c_s – коэффициент размытости ядра, соответствующий каждой переменной объекта, s – объем выборки наблюдений. Ядерная функция и коэффициент размытости ядра удовлетворяют некоторым условиям сходимости [6].

В случае динамического объекта задающее воздействие имеет вид:

$$x_j^* = \frac{\sum_{i=1}^s x_t^j \Phi\left(\frac{x_t^{j-1} - x_i^{j-1}}{c_s^x}\right) \Phi\left(\frac{u_t^j - u_i^j}{c_s^{u^j}}\right) \Phi\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s^x}\right) \dots \Phi\left(\frac{x_{t-k}^j - x_{i-k}^j}{c_s^x}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_t^{j-1} - x_i^{j-1}}{c_s^x}\right) \Phi\left(\frac{u_t^j - u_i^j}{c_s^{u^j}}\right) \Phi\left(\frac{x_{t-1}^j - x_{i-1}^j}{c_s^x}\right) \dots \Phi\left(\frac{x_{t-k}^j - x_{i-k}^j}{c_s^x}\right)}, j = \overline{1, n} \quad (4)$$

Параметр размытости c_s определяется путем решения задачи минимизации квадратичного показателя соответствия выхода объекта и задающего воздействия, основанного на «методе скользящего экзамена»

$$R(c_s) = \sum_{k=1}^s \left(x_{i_k}^* - x_{i_k}^t(u_k, c_s) \right)^2 = \min_{c_s}, k \neq j, i = \overline{1, n} \quad (5)$$

когда в уравнениях (3-4) исключается j -я переменная, предъявляемая для экзамена.

Заключение. Таким образом в статье рассмотрена задача управления группой объектов в варианте последовательно распределенных элементов последовательности. Приведены непараметрические алгоритмы адаптивного управления. В этом случае использование типовых алгоритмов регулирования без внешнего контура управления может привести к значительным ошибкам при регулировании. В итоге, при управлении последовательностью процессов сначала необходимо определить соответствующие задающие воздействия для выходных переменных, а уже затем применять типовые алгоритмы регулирования. Это является существенной особенностью построения управляющей системы в отличии от традиционных алгоритмов управления.

Список литературы / References

1. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. / Я.З. Цыпкин – М.: Наука, 1968. – 400 с.
2. Эйхофф П. Основы идентификации систем управления. / П. Эйхофф – Мир, 1975. – 681 с.
3. Фельбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А.А. Фельбаум – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.
4. Медведев А. В. Основы теории адаптивных систем / А.В. Медведев – Краснодар: изд. СибГАУ, 2015. – 525 с.
5. Корнеева А.А. Об адаптивном управлении последовательностью технологических объектов /А.А. Корнеева, М.Е. Корнет, Н.А. Сергеева, Е.А. Чжан. // Вестник СибГАУ. – 2015. – Т. 16. - № 1. – С. 72–78
6. Надарая Э. А. Непараметрическое оценивание плотности вероятностей и кривой регрессии / Э.А. Надарая – Тбилиси: Изд-во Тбилис. ун-та., 1983. – 194 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tsypkin Ja. Z. Adaptatsiya i obuchenie v avtomaticheskikh sistemakh [Adaptation and learning in automatic systems] / Ja. Z. Tsypkin. – Moscow: Nauka Publ., 1968. - 400 p. [in Russian]
2. Eykhoff P. Osnovy identifikatsii sistem upravleniya [Identity-based control systems] / P. Eykhoff. – Moscow: Mir Publ., 1975. - 681 p. [in Russian]
3. Fel'dbaum A. A. Osnovi teorii optimal'nikh avtomaticheskikh sistem [Fundamentals of the theory of optimal automatic systems] / A. A. Fel'dbaum. – Moscow: Fizmatgiz Publ., 1963. - 552 p. [in Russian]
4. Medvedev A. V. Osnovi teorii adaptivnih sistem [Basic theory of adaptive systems] / A. V. Medvedev. – Krasnoyarsk: SibSAU Publ., 2015. - 525 p. [in Russian]
5. Korneeva A. A. Ob adaptivnom upravlenii posledovatel'nost'ju tehnologicheskikh obektov [On the sequence of adaptive management of technological objects On the sequence of adaptive management of technological objects] / A. A. Korneeva, M. E. Kornet, H. A. Sergeeva, E. A. Chzhan // Vestnik SibGAU [Bulletin of the SibCAU]. - 2015. - T.16. - № 1. - p. 72–78. [in Russian]
6. Nadaraya E. A. Neparametricheskie otsenki plotnosti veroyatnosti i krivoy regressii [Non-parametric estimation of the probability density and the regression curve] / E. A. Nadaraya. – Tbilisi: izd. Tbil. un-ta Publ., 1983. - 194 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.071

Кротких А.А.¹, Максимов П.В.²

¹Студент, ²кандидат технических наук, доцент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02.G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218)

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ SIMP

Аннотация

Настоящая статья посвящена исследованию алгоритма топологической оптимизации SIMP. Алгоритм был воспроизведен, проанализирован в вычислительном пакете Wolfram Mathematica. Был обнаружен недостаток данного метода, который представлял собой определение оптимального коэффициента Лагранжа. Авторами предложен и исследован вариант модифицированного алгоритма SIMP, который исключает проблему поиска подходящего коэффициента. Предложенный вариант алгоритма был сравнен с изначальным, и было показано, что результатом использования модифицированного алгоритма лучше чем результат обычного метода SIMP. Минусом модификации является увеличение времени счета алгоритма.

Ключевые слова: SIMP, топология, оптимизация формы.

Krotkikh A.A.¹, Maksimov P.V.²

¹Student, ²PhD in Engineering, associate professor,
Perm National Research Polytechnic University

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation
(the contract from 12.01.2015 №02.G25.31.0168 in structure of activities to implementation
of Government Resolution № 218)

THE ANALYSIS OF METHODS OF REFINEMENT OF THE FINITE ELEMENT MODEL AFTER TOPOLOGY OPTIMIZATION

Abstract

This article is dedicated to the study of topological optimization algorithm SIMP. The algorithm has been reproduced and analyzed by Student Edition Wolfram Mathematica 11.0.1. Disadvantage of this method has been discovered. It was a problem of determining Lagrange coefficient. The authors have proposed and examined a variant of the modified algorithm SIMP, which eliminates the problem of finding a suitable Lagrange coefficient. The proposed version of the algorithm has been compared with the original, and it was shown that the result of using the modified algorithm is better than the result of normal SIMP. The weakness of the modified algorithm is a computing time.

Keywords: SIMP, topology, optimization of shape.

Работа посвящена исследованию метода топологической оптимизации (SIMP метод), целью которого является снижение податливости всей конструкции за счет перераспределения материала в области, ограниченной телом либо заданной нами. Это позволяет получать объекты, которые имеют специфические свойства при заданных ограничениях[1, С. 3]. Используется в аддитивных технологиях, так называемых технологиях 3D печати, позволяющие получать тела заданной формы. Используя метод, мы можем получить максимально прочные конструкции практически для любой решаемой задачи. Результатом использования метода также является получение равнопрочного объекта в рамках рассматриваемой задачи. Основной идеей метода является создание поля виртуальной плотности, которая представляет аналог какой-то реальной характеристики тела, например, при решении двумерной задачи оптимизации виртуальная плотность выполняет роль толщины тела в этой точке.

Применим метод SIMP к плоской задаче теории упругости. Имеется тело, на которое действуют внешние силы, также оно закреплено некоторым образом. При заданных краевых условиях задача решается методом конечных элементов.

$$\begin{aligned} -\partial_j \sigma_{ij}(u) &= f \\ u|_{\Gamma_0} &= 0, \sigma_{nn} = 0 \\ u|_{\Gamma_1} &= t_t, t_n \\ \sigma_{ij} &= 2\mu\varepsilon_{ij}(u) + \zeta\varepsilon_{kk}(u)\delta_{ij} \end{aligned} \tag{1}$$

В МКЭ будем использовать симплекс элемент – треугольный элемент с линейной Лагранжевой аппроксимацией. Результатом решения будет некоторая деформированная модель объекта. На базе результата МКЭ мы применяем метод SIMP, который заключается в определении оптимального поля виртуальной плотности тела. Изначально поле плотности задается однородным. Это означает, что плотность одинаковая и равна $\rho = 1$. Целевой функцией, которую мы будем оптимизировать по выбранному параметру, будет податливость объекта. Необходимо достигнуть минимальных перемещений в узлах конечно-элементной сетки. Таким образом, мы минимизируем целевую функцию податливости как функцию виртуальной плотности. Алгоритм оптимизации и целевая функция (2) выбраны на основе работы [2, С. 3]

$$\min c(\rho) = U^T K U = \sum_{i=1}^N E(\rho_i) u_i^T k_0 u_i \tag{2}$$

$$E(\rho_i) = E_{\min} + \rho_i^p (E_0 - E_{\min}) \quad (3)$$

При необходимости можно задать ограничение на массу и объем, занимаемый будущей конструкцией, и определить диапазон изменения виртуальной плотности. Алгоритм определения плотностей представлен в работе [2, С. 3].

$$B_i = \frac{\partial c}{\partial \rho_i} / \lambda \frac{\partial V}{\partial \rho_i} \quad (4)$$

где B (4) - условие оптимизации, λ -коэффициент Лагранжа

$$\frac{\partial c}{\partial \rho_i} = -p \rho_i^{p-1} u_i^T k_0^T u_i \quad (5)$$

$$\max(0, \rho_i - m), \rho_i B_i^\eta < \max(0, \rho_i - m)$$

$$\rho_{inow} = \min(1, \rho_i + m), \rho_i B_i^\eta > \min(1, \rho_i + m) \\ \rho_i B_i^\eta, otherwise \quad (6)$$

Используя такой алгоритм, мы сможем получить каноничное решение SIMP метода, представленное в виде черно-белого решения [1, С. 5, 2, С. 5, 3, С. 4, 4, С.39]. Сформулируем задачу для МКЭ и применим к результату метод SIMP. Данна плоская прямоугольная область, защемленная на правой границе. На левой границе в верхнем углу приложена сосредоточенная нагрузка.

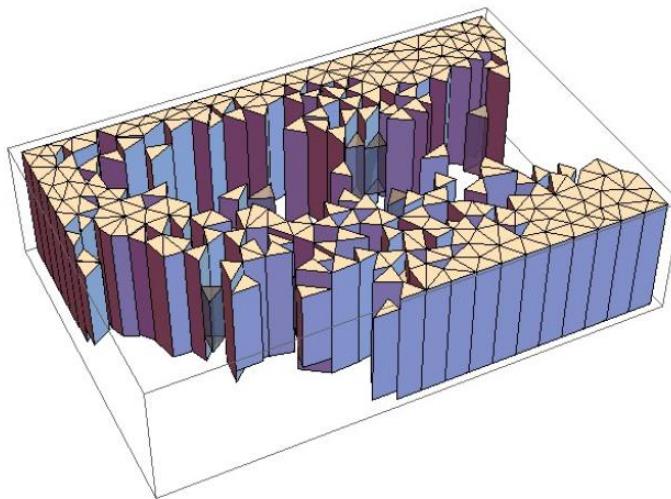


Рис. 1 – «Черно-белое» решение SIMP метода

Недостатком SIMP метода является его результат: получение несвязной области (Рис.1), что противоречит здравому смыслу задачи. Для этого используется алгоритм распределения плотности по близлежащим конечным элементам (Рис.2), также называемый алгоритмом фильтрации. Вводится вектор H (7,8), который содержит в себе значения расстояний от центра текущего КЭ до центра всех КЭ, удовлетворяющих заданным условиям, в области. В данной задаче КЭ должны лежать в пределах критического радиуса влияния.

$$H_i = r_{\min} - dist(i, j) \quad (7)$$

$$\{j \in N | dist(i, j) < r_{\min}\}, i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

$$\rho_i \frac{\partial c}{\partial \rho_i} = \frac{1}{\sum_j H_j} \sum_{j=1}^N H_j \rho_j \frac{\partial c}{\partial \rho_j} \quad (9)$$

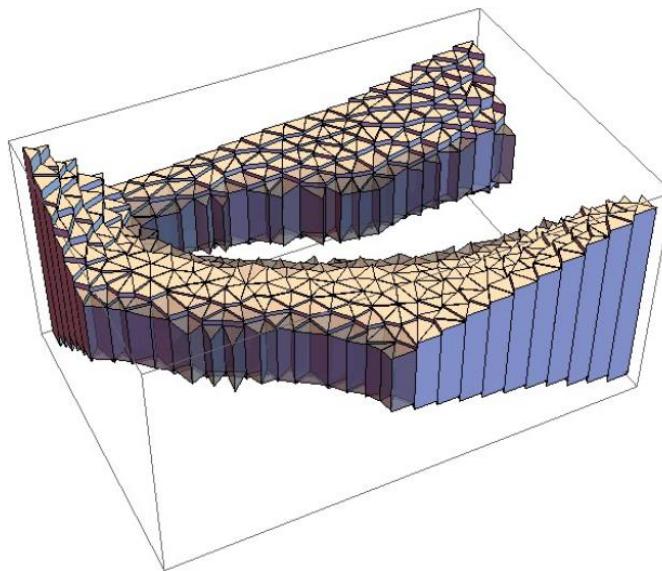


Рис. 2 – Результат использования фильтрации

Второй проблемой метода является определение множителя Лагранжа для получения корректной оптимизации объекта. Для каждого выбранного нагружения и формы объекта необходимо подобрать свой коэффициент Лагранжа. От этого коэффициента зависит и «физичность» решения, и границы применимости метода для каждой конкретной задачи. То есть, неправильно определив значение коэффициента, мы можем получить абсолютно некорректное решение. Примером такого решения может послужить «острова» материала с максимальной допустимой плотностью. Авторы работы предлагают усовершенствовать исходный алгоритм метода SIMP, введя изменения в определение вектора B (10,11). Таким образом мы устраним проблему определения коэффициента оптимизации.

$$B_i = \frac{\frac{\partial c}{\partial \rho_i}}{\lambda \frac{\partial V}{\partial \rho_i}} \quad (10)$$

$$\bar{B}_i = \frac{B_i}{\max(B_i)} \quad (11)$$

Алгоритм изменения плотности также был изменен, и приобрел такой вид (12):

$$\rho_{inow} = \rho_i B_i^\eta \quad (12)$$

Необходимо оценить насколько адекватной является данная корректировка метода. Сравним изменения перемещения нескольких реперных точек при использовании метода SIMP с коэффициентом Лагранжа и с коэффициентами, вычисленными модифицированным методом. Реперные точки выбраны таким образом, чтобы охарактеризовать перемещения в опасных участках модели, в данном случае это точки, лежащие в окрестности нагрузжения. Необходимо также удостовериться в том, что модифицированный метод не обнуляет значение виртуальной плотности в конечных элементах, к которым относится реперная точка. Таким образом, получается, что в ходе решения задачи мы каждый раз находим такие B_i , которые наилучшим образом подходят под данную форму объекта. Необходимо также показать, что такой вариант алгоритма не приводит к ухудшению итогового решения и получает некоторое сходящееся решение как изначальный SIMP метод.

На нижеприведенных графиках (Рис.3,4) видно, что при увеличении коэффициента Лагранжа расстояния между кривыми, характеризующими перемещения в реперной точке, уменьшаются. Модифицированный алгоритм сразу «подбирает» коэффициент таким образом, чтобы получить результат, к которому будут стремиться решения с постоянным коэффициентом. Стоит сказать, что бесконечное увеличение коэффициента Лагранжа не даст нам сразу итоговое решение. Решение будет получаться до тех пор пока первая итерация метода SIMP дает «физическo-верное» решение. Имеется ввиду, что в решение не будут присутствовать «острова» материала не связанные с остальной областью. Если получится «физическo-неверное» решение, «острова» материала не будет связан с граничными условиями по закреплениям и будет ничем не ограничен в перемещениях. То есть, на графиках перемещений у нас такое решение даст бесконечный рост перемещения относительно начального. Таким образом, мы исключаем проблему определения границ значений для коэффициента оптимизации. Минус модифицированного метода заключается в том, что для его реализации требует больше вычислительных ресурсов, нежели оригиналный метод SIMP. Это связано с тем, что мы переопределяем функцию чувствительности и изменяем алгоритм изменения виртуальной плотности. В итоге метод требует несколько больше итераций чем оригиналный.

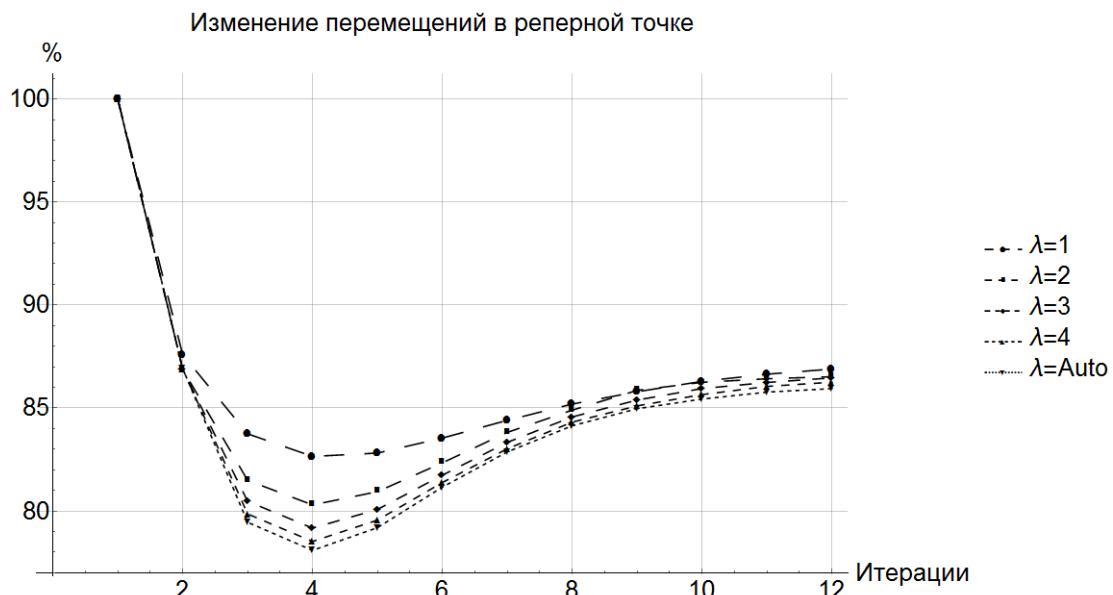


Рис.3 – Сравнение перемещений в реперной точке №95 при использовании различных коэффициентов Лагранжа и модифицированного метода

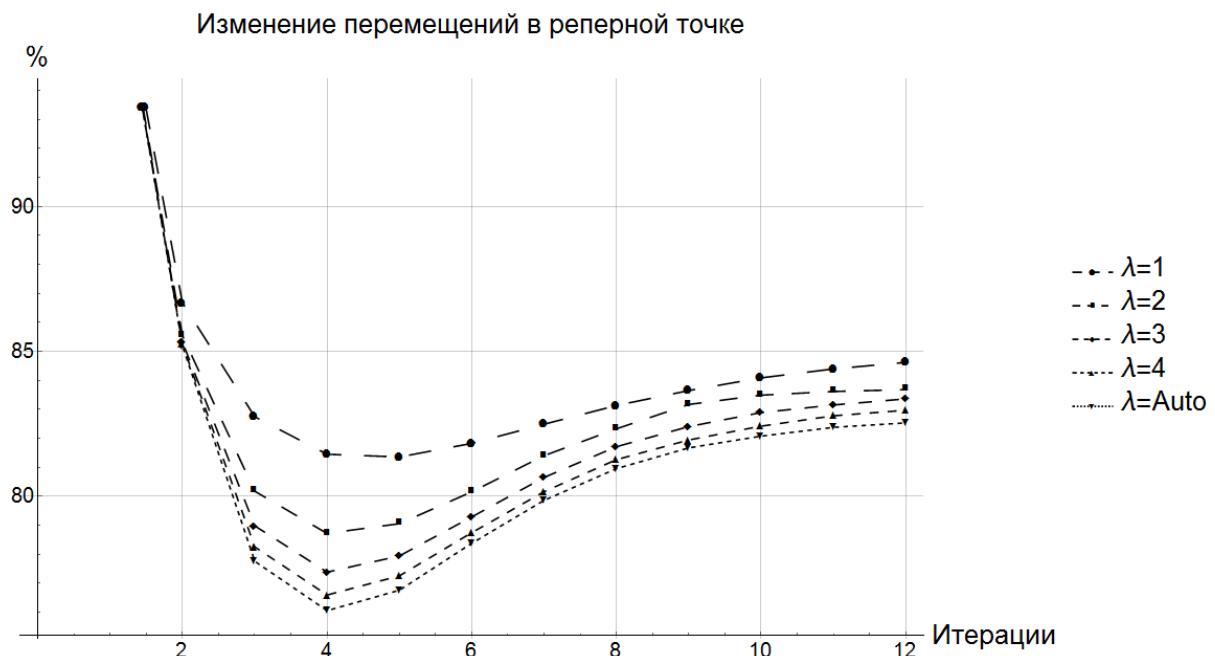


Рис.4 – Сравнение перемещений в реперной точке №72 при использовании различных коэффициентов Лагранжа и модифицированного метода

В заключении необходимо подчеркнуть, что корректировка метода SIMP не отменяет его абсолютной сходимости к некоторому конечному решению. Математическое обоснование и доказательство этого факта предложено в работе [4, С. 29], результаты оптимизации схожи с результатами других авторов, несмотря на то, что используется другой тип КЭ.

Таким образом, авторами работы были достигнуты следующие результаты:

- 1) Был воспроизведен метод SIMP в чистом виде, т.е. с «шахматной доской» и без.
- 2) Была проанализирована адекватность метода путем сравнения методом конечных элементов перемещений в реперных точках.
- 3) Был предложен модифицированный метод SIMP и продемонстрирована его адекватность в сравнении с оригинальным методом SIMP при различных значениях коэффициента Лагранжа.

Список литературы / References

1. Brackett D.J., Ashcroft I.A. and Hague R: Topology optimization for additive manufacturing, 22nd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Texas, USA, 348-362, 2011
2. Jun-ichi Koga., Checkerboard Problem to Topology Optimization of Continuum Structures/ Jun-ichi Koga., Jiro Koga, Shunji Homma., Computational Engineering, Finance, and Science – 2013
3. Diaz A., Checkerboard Patterns in Layout Optimization/ Diaz A., Sigmund, O., Structural and Multidisciplinary Optimization – 1995 – Issue 1 – 40-45
4. Bondsoe M.P. Topology Optimization Theory, Methods and Applications/ Bondsoe M.P., Sigmund O., Topology Optimization – Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2002.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.072

Ладыгина Э.Р.

ORCID: 0000-0001-8503-2017, Аспирант,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ЗАДАЧ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СМК «ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКЦИИ» НА МЕТИЗНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация

Определены цели метизного предприятия. Составлены цепочки факторов, влияющих на данные цели и связанные с ними. На основе выделенных факторов, определен перечень задач, решение которых способствует достижению целей предприятия. Определена основная цель процесса «Производство продукции». Из общих задач выделены задачи процесса, выполнение которых оказывает влияние на успешное достижение его целей. Составленный перечень планируется использовать для определения критерии результативности рассматриваемого процесса.

Ключевые слова: цели, задачи, процесс, система менеджмента качества, результативность.

Ladygina E.R.

ORCID: 0000-0001-8503-2017, Postgraduate student,

Nosov Magnitogorsk State Technical University Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education

DETECTION OF TASKS AFFECTING GOALS ACHIEVEMENT IN QMS “PRODUCTION” AT METALWARE ENTERPRISE

Abstract

The aims of the metalware enterprise have been identified. Chains of factors affecting these and related goals have been determined. On the basis of the extracted factors, we created a list of tasks, the solution of which contributes to the achievement of business goals. We identified the main goal in “Production.” We have singled out the process tasks, performing which affects successful achievement of the goals. This list will be used to determine the criteria of the effectiveness of the considered process.

Keywords: purposes, tasks, process, quality management system, efficiency.

Система менеджмента качества (СМК) включает в себя деятельность, посредством которой организация устанавливает свои цели и определяет процессы и ресурсы, требуемые для достижения желаемых результатов [1, С. 2]. Кроме этого, предприятие должно оценивать результативность СМК и ее процессов, однако, в международных и национальных стандартах нет четкого алгоритма данной оценки.

Т.к. процессы в СМК это ее взаимосвязанные элементы, то для определения результативности процессов, необходимо определить связь от целей предприятия к целям и задачам процессов. На основании этих целей и задач можно создать объективные критерии оценки результативности процесса.

В данной статье рассмотрим определение задач процесса СМК «Производство продукции» на метизном предприятии, решение которых способствуют достижению целей процесса, а соответственно, влияющих на его результативность.

Процесс СМК «Производство продукции» включает в себя:

- выдачу заданий на участки,
- выдачу заданий на рабочее место,
- обеспечение сырьем и материалами, оснасткой и инструментами,
- производство продукции,
- контроль техпроцессов и продукции,
- сдача готовой продукции.

Результативность степень, с которой запланированные задачи выполнены и запланированные результаты достигнуты [1, С. 17], а цель это результат, который должен быть достигнут [1, С. 15]. Таким образом, можно сделать вывод, что результативность это степень достижения целей и задач.

Предприятие само определяет свои цели, однако в рамках данной статьи рассмотрим следующие основные цели:

- удовлетворение требований потребителя,
- получение прибыли.

Цель удовлетворение требований потребителя поделим на цели второго уровня:

- производство продукции с уровнем качества требуемой потребителем;
- выполнение заказа потребителя в срок,
- выполнение заказа потребителя в нужном объеме,
- выполнение дополнительных требований потребителя.

Цель получение прибыли поделим на следующие цели второго уровня:

- эффективное использование ресурсов процесса, т.е. из минимума ресурсов получить максимальный результат, отвечающий требованиям потребителя и нормативных документов,
- расширение рынка сбыта продукции.

Среди факторов, влияющих на достижение этих целей, выделим два блока:

- 1) Производство продукции с уровнем качества требуемой потребителем:
 - качественное сырье и материалы, необходимые для изготовления продукции,
 - квалифицированный персонал,

- работоспособное оборудование,
- эффективный технологический процесс изготовления продукции, позволяющий на выходе получить продукцию, отвечающую требованиям потребителя,
- упаковка, хранение, транспортировка продукции до потребителя, без потери качества,
- инфраструктура,
- эффективное управление несоответствующей продукцией.

2) Выполнение заказа потребителя в срок и в нужном объеме:

- надежные поставщики сырья и материалов,
- эффективное планирование загруженности производства в соответствии с заказами.

Определим цепочку задач, решение которых способствует достижению необходимых факторов первого блока:

1) Качественное сырье и материалы, необходимые для изготовления продукции:

- надежный поставщик сырья и материалов, поставляющий качественную продукцию,
- входной контроль, позволяющий изолировать некачественную продукцию и не допустить ее в производство.

2) Квалифицированный персонал:

- своевременное повышение квалификации и обучение,
- взаимозаменяемость персонала,

– своевременное ознакомление персонала с нормативной, технической и прочей документацией, в которой указаны требования к процессу «Производство продукции».

3) Работоспособное эффективное оборудование:

- модернизация или замена оборудования,
- своевременное обслуживание и ремонт оборудования,

4) Эффективный технологический процесс изготовления продукции, позволяющий на выходе получить продукцию, отвечающую требованиям потребителя:

- своевременный пересмотр и актуализация технологического процесса,
- контроль качества продукции на всех этапах производственного процесса,
- управление рисками, оказывающими влияние на технологический процесс производства продукции,
- соблюдение техпроцесса и доведение его требований до персонала, задействованного в производстве продукции.

5) Упаковка, складирование и транспортировка продукции до потребителя, без потери качества:

- качественная упаковка и материал для нее,
- соблюдение схем складирования,
- своевременная транспортировка.

6) Инфраструктура, в условиях которой происходит процесс «Производства продукции»:

- своевременное обслуживание и ремонт зданий и сооружений,
- своевременная поверка и калибровка средств измерения и испытательного оборудования,
- использование учтенных, проверенных и калиброванных средств измерения и испытательного оборудования.

7) Эффективное управление несоответствующей продукцией:

- выявление и изоляция несоответствующей продукции от годной,
- принятие решений о дальнейшем движении несоответствующей продукции на взаимовыгодных условиях с потребителем,
- управление рисками, с учетом анализа причин выпуска несоответствующей продукции.

Обозначим задачи, решение которых способствуют достижению необходимых факторов второго блока:

1) Надежные поставщики сырья и материалов:

- составление перечня надежных поставщиков на основании ранее выполненных договоров и соглашений,
- управление рисками и возможностями, влияющими на поставку качественного сырья и материалов,
- взаимовыгодные условия работы с поставщиками.

2) Эффективное планирование загруженности производства:

– составление плана производства в соответствии с заказами и возможностями загрузки производственных мощностей;

- управление рисками и возможностями, оказывающими влияние на эффективное планирование производства.

– своевременное и точное оформление перечня необходимых для производственного процесса сырья и материалов.

С учетом целей метизного предприятия целью процесса «Производство продукции» будем считать своевременный выпуск продукции, удовлетворяющей условиям договоров, контрактов и др.

Из составленного перечня задач выделим те, которые необходимо решать в рамках процесса «Производство продукции» для достижения поставленной цели:

- управление рисками и возможностями, влияющими на поставку качественного сырья и материалов, технологический процесс производства продукции, эффективное планирование производства, выпуск качественной продукции,
- своевременный пересмотр технологической документации и актуализация технологического процесса,
- соблюдение требований техпроцесса и их доведение до персонала, задействованного в производстве продукции,
- взаимозаменяемость персонала,

- своевременное ознакомления персонала с нормативной, технологической и другой документацией, регламентирующей процесс «Производство продукции»;
- использование учтенных, поверенных и калиброванных средств измерений и испытательного оборудования,
- составление плана производства в соответствии с заказами и возможностями загрузки производственных мощностей,
- своевременное и точное оформление перечня необходимых для производственного процесса сырья и материалов,
- выявление, изоляция и принятие решений о дальнейшем движении несоответствующей продукции на взаимовыгодных условиях с потребителем.

Таким образом, составлен перечень задач, решение которых способствует достижению целей, процесса «Производство продукции», неразрывно связанных с целями метизного предприятия.

В следующих работах планируется, на основании составленного перечня, определить критерии и разработать методику оценки результатаивности процесса «Производство продукции».

Список литературы / References

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст]. - Введ. 2015-09-28. - М. : Стандартинформ, 2015. – 48 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST R ISO 9000-2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozhenija i slovar' [Quality management systems. Fundamentals and vocabulary]. - Vved. 2015-09-28. - M. : «Standartinform», 2015. – 48 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.120

Мартынова И.А.

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТВОРОЖНОГО ДЕСЕРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Аннотация

Целью исследования являлась разработка технологии нового творожного десерта функциональной направленности с добавлением биологически активных веществ природного происхождения: пробиотиков и топинамбура. Проведены исследования особенностей производства творога с использованием пробиотической закваски, возможности использования порошка топинамбура в рецептуре творожного десерта. Разработана рецептура нового творожного десерта, определение его органолептические и физико-химические показатели.

Ключевые слова: творог, творожный десерт, пробиотик, топинамбур.

Martynova I.A.

Belgorod state agricultural university of V. Ya. Gorin

DEVELOPMENT OF CURD DESSERT TECHNOLOGY OF FUNCTIONAL ORIENTATION

Abstract

The aim of the study is to develop a new curd dessert technology of functional orientation with the addition of biologically active substances of natural origin: probiotics and girasol. The features of curd production with probiotic starter, the possibility of using the powder of girasol in the recipe of curd dessert are studied. A new recipe of curd dessert is developed, its organoleptic and physical and chemical parameters are determined as well.

Keywords: curd, curd dessert, a probiotic, Jerusalem artichoke.

В последние времена много внимания уделяется созданию продуктов функционального питания, способных оказывать определенное регулирующее действие на организм в целом или на его определенные системы и органы, что соответствует Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, а также Концепции государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года.

Перспективными направлениями для создания продуктов функционального назначения является применение пробиотиков, а также включения растительных компонентов, таких как топинамбур. Следует отметить, что в состав топинамбура входит целый комплекс витаминов, клетчатка, пектин, углеводы и инулин. Этим веществам уделим особое внимание, поскольку именно благодаря их присутствию топинамбур нашел широкое применение в медицине.

Благодаря лечебным и диетическим свойствам, приятному вкусу, легкой усвояемости - кисломолочные продукты имеют большое значение в питании человека.

Творог и творожные изделия очень питательны, так как содержат много белков и жира. Творожные белки частично связаны с солями фосфора и кальция. Это способствует лучшему перевариванию белков в желудке и кишечнике. Поэтому творог хорошо усваивается организмом.

Почти во всех лечебных диетах, предписываемых врачами, одним из первых значится творог. Творог полезен и здоровым людям любого возраста. Он представляет собой концентрат молочного белка и некоторых других составных частей молока.

Современные производители пищевой продукции предлагают, как сладкие, так и соленые варианты творожной массы. Как правило, в состав этого вкусного и полезного продукта входит качественный свежий творог, сливки или сливочное масло, а также сахарный песок или пищевая соль. Кроме того, в состав творожной массы также может входить и сгущенное молоко. Для придания дополнительных вкусовых и ароматических качеств иногда, помимо основных ингредиентов, добавляют орехи и сухофрукты, ванилин, свежую зелень, а также свежие фрукты или цукаты [1, С.108].

В связи с этим представляет широкий интерес создание новых творожных десертов функциональной направленности с добавлением биологически активных веществ природного происхождения: пробиотиков и топинамбура.

Начальный этап исследований был связан с получением творога различными способами, с разными температурами сквашивания (табл. 1), так как творога использовалась не традиционная закваска, а состоящая из культур: *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*. Произведен анализ полученных данных и выбраны оптимальные режимы, при которых время сквашивания будет минимальным, с хорошо образовавшимся сгустком и нужной кислотностью, где скорость отделения сыворотки будет наибольшей, а также где выход творога будет максимальным.

Таблица 1 – Зависимость нарастания кислотности от метода и температуры сквашивания (n=3, V<5)

Метод сквашивания	Температура сквашивания, °C	Кислотность, °T (через каждый час)				
		18	25	32	60	70
Кислотный	32	18	25	32	60	70
	36	20	27	34	62	72
	40	21	28	41	78	89
Кислотно-сычужный	32	8	22	30	50	60
	36	19	25	32	62	74
	40	20	27	35	65	77

Из таблицы видно, что в 2-х методах при 40 °C, кислотность нарастает наиболее быстро, чем при других температурах сквашивания, что связано с тем, что такая температура является наиболее благоприятной для развития микроорганизмов заквасочных культур.

Следующим действием было выявление образца с наибольшим выходом готового продукта (табл.2)

Таблица 2 – Зависимость выхода готового продукта от температуры отваривания и метода сквашивания (n=3, V<5)

Метод сквашивания	Температура сквашивания, °C	Температура отваривания, °C	Выход готового продукта, г
Кислотный	32	55	189,6
		60	189,9
		65	190,1
	36	55	196,1
		60	196,8
		65	199,4
	40	55	200,3
		60	207,5
		65	211,4
Кислотно-сычужный	32	55	178,5
		60	172,4
		65	170,5
	36	55	189,8
		60	183,1
		65	180,3
	40	55	197,4
		60	198,2
		65	198,6

Из таблицы видно, что при кислотном методе выход продукта выше, нежели при кислотно – сырьевом, это связано с тем что, творог полученный кислотным способом имеет более высокую массовую долю влаги, что естественно влияет на выход творога.

Так же была определена степень перехода белков молока в сыворотку при разных температурах отваривания и сквашивания, различий практически не было.

На следующем этапе определена зависимость массовой доли влаги от температуры сквашивания и отваривания.

Таблица 3 – Массовая доля влаги и сухих веществ (n=3, V<5)

Метод сквашивания	Температура сквашивания, °C	Температура отваривания	Массовая доля, %	
			влага	сухие вещества
Кислотный	32	55	79,5	20,5
		60	79,1	20,9
		65	78,4	21,6
	36	55	79,0	21,0
		60	78,2	21,8
		65	77,8	22,2
	40	55	75,9	24,1
		60	75,3	24,7
		65	74,8	25,2
Кислотно-сычужный	32	55	58,6	41,4
		60	58,1	41,9
		65	57,7	42,3
	36	55	58,2	41,8
		60	57,4	42,6
		65	57,1	42,9
	40	55	56,6	43,4
		60	56,1	43,9
		65	55,8	44,2

По данным таблицы видно, что в кислотно-сычужном твороге влаги меньше, для творожной массы – такой творог не подходит, так как он практически сухой, поэтому целесообразно использовать творог, полученный кислотным способом.

Количества наполнителя подбирали исходя из органолептических показателей – оптимальным количеством стало 20 % от массы готового продукта.

При определении количества внесения фруктозы по органолептическим показателям, наиболее оптимальным оказался образец с количеством фруктозы 12 % от массы наполнителя.

Ввиду нейтрального вкуса и запаха вносимого порошка топинамбура выявлена приемлемость его внесения в максимальном количестве рекомендованном производителем используемого порошка, которое составило 3% от массы наполнителя.

По окончанию исследования проводилась дегустация разработанного продукта по основным органолептическим показателям: цвет, запах, консистенция, вкус, послевкусие.

Продукт оценивали по 5-ти бальной шкале. Наибольшее предпочтение получил, «Творожок вишневый с топинамбуром» производимый кислотным способом с температурой заквашивания 40 °C с количеством вносимого наполнителя 20 %.

В ходе проведения дегустации дегустационная комиссия сделала вывод о том, что разрабатываемая творожная масса имеет достаточно выраженный кисломолочный, в меру кислый, свойственный наполнителю вкус и запах, кремообразную консистенцию, выраженный цвет, свойственный наполнителю.

В результате исследований была разработана рецептура на «Творожок вишневый с топинамбуром», определено соотношение компонентов на 1000 кг продукта (табл. 4).

Таблица 4 – Рецептура на «Творожок вишневый с топинамбуром»

Компоненты	в кг на 1000 кг продукта	
	По рецептуре	Расчетное
Творог обезжиренный	800,0	80,0
Наполнитель вишневый:	200,0	20,0
-плоды вишни	168,0	16,8
-фруктоза	24,0	2,4
-топинамбур	6,0	0,6
-пектин	2,0	0,2
Итого:	1000	100

Были определены физико-химические показатели готового продукта: титруемая кислотность не более 200 °T, массовая доля влаги не более 80 %.

Список литературы/ References

- Голубева Л.В. Изучение свойств творожного продукта с компонентами растительного происхождения / Л.В. Голубева, О.И. Долматова, В.Ф. Бандура // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. - №2. – С.108-111.

Список литературы на английском языке / References in English

- Golubeva L.V., Izuchenije svoystv tvorozhnogo produkta s komponentami rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Studying the properties of quark products with components of plant origin]/ L.V.Golubeva, O.I.Dolmatova, V.F. Bandura // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies] . – 2015. - №2. – P.108-111. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.049

Морозов Д.И.¹, Смирнов А.П.²

^{1,2}Магистрант, Сибирский федеральный университет

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ В САЕ-ПАКЕТЕ ANSYS С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ACT

Аннотация

Работа с CAE-программой Ansys требует специальные знаний для настройки самой среды, конкретного численного эксперимента и получаемых результатов. Для решения таких монотонных задач была разработана технология ACT, с помощью которой можно автоматизировать монотонные действия. В данной статье кратко рассмотрены основные методы автоматизации расчетов с помощью технологии ACT. Приведены основные инструменты для выполнения автоматизации и рассмотрен пример задания автоматической упорядоченной сетки.

Ключевые слова: автоматизация, ANSYS, ACT.

Morozov D.I.¹, Smirnov A.P.²

^{1,2}Master degree student, Siberian federal university

METHODS OF AUTOMATICAL CALCULATIONS IN ANSYS CAE-PACKAGE WITH ACT TECHNOLOGY

Abstract

The use of Ansys CAE-program requires a special knowledge to configure the environment itself, a particular numerical experiment and results obtained. ACT technology has been developed in order to solve these monotonous tasks, it is used to automate repetitive actions. This article briefly describes the main methods of calculation automation with the help of ACT technology. The automation tools are described, the example of automatic ordered grid setting is considered in the paper.

Keywords: automation, ANSYS, ACT.

В настоящее время в своей работе инженеры-разработчики все чаще сталкиваются с программными пакетами для выполнения широкого ряда инженерных расчетов, так называемыми CAE-пакетами, которые внутри себя включают сложные математические модели для выполнения моделирования различных воздействий на проектируемые изделия. Одним из наиболее распространенных программных комплексов для выполнения инженерных расчетов является ANSYS. В состав данного пакета входит множество различных модулей, позволяющих выполнять расчеты в самых различных областях. На данный момент работа данным программным пакетом выполняется через современную программную оболочку, называемую ANSYS Workbench.

Однако работа с такими программными продуктами зачастую требует специальных знаний для настройки самой среды, конкретного численного эксперимента и получаемых результатов. Все это приводит к сложной монотонной работе, которую требуется выполнять перед проведением каждого эксперимента и для каждой модификации проектируемого изделия.

В качестве решения этих проблем в последних версиях ANSYS был разработан функционал называемый ACT (Application Customization Toolkit), который представляет собой специализированный набор инструментов для адаптации и автоматизации расчетов на базе ANSYS Mechanical в среде ANSYS Workbench. Также он предоставляет широкие возможности для создания, адаптации и настройки «дружелюбного» пользователю функционала, а также реализацию собственных «ноу-хау». Данный инструмент позволяет объединить весь потенциал языков программирования, используемых в среде ANSYS Workbench, а также языка APDL, который также в свою очередь позволяет выполнять автоматизацию данной среды, но является более старой разработкой, однако имеет более глубокую интеграцию с ядром решателя ANSYS.

Если более подробно остановиться на рассмотрении функционала ACT, то следует выделить следующие основные возможности, которые описаны ниже.

Интеграция APDL-макросов в ANSYS Mechanical. При помощи ACT возможно создать дополнительные кнопки и элементы меню, интегрирующие макросы на языке APDL в проект и обеспечивающие возможность использования сложных команд даже теми инженерами, кто не владеет соответствующими навыками. Создаваемые элементы меню и кнопки выглядят так же, как и любой другой стандартный элемент графического интерфейса ANSYS Mechanical. Интегрируемые APDL- макросы при этом защищаются от нежелательных исправлений для 100% гарантии работоспособности.

Расширение функционала APDL. Эта возможность позволяет сблизить функционал Mechanical Workbench с MAPDL, реализуя незапрограммированные возможности.

Реализация новых функций пре/постпроцессинга (пользовательские нагрузки, граничные условия и результаты). Добавленные нагрузки и граничные условия появятся в дереве проекта со всеми настройками и определениями как для стандартных элементов Mechanical, включая указание геометрии и возможности параметризации. Команды, включенные в элемент, будут отправлены в решатель после формирования входного файла при нажатии кнопки Solve. Если необходимо отобразить результат согласно отраслевому стандарту или стандарту предприятия, то это возможно с помощью ACT. Новый результат может вычисляться на основе стандартных компонентов по сложным математическим соотношениям или на основании работы внешнего обработчика результатов.

Интеграция собственных решателей и обработчиков в интерфейс ANSYS Mechanical. С помощью ACT можно интегрировать в интерфейс ANSYS Mechanical собственные расчетные коды. При этом останутся доступны возможности среды ANSYS Workbench и интерфейса ANSYS Mechanical, в т.ч. двусторонняя ассоциативная связь с CAD-системами, возможность построения расчетных сеток и обработки результатов.

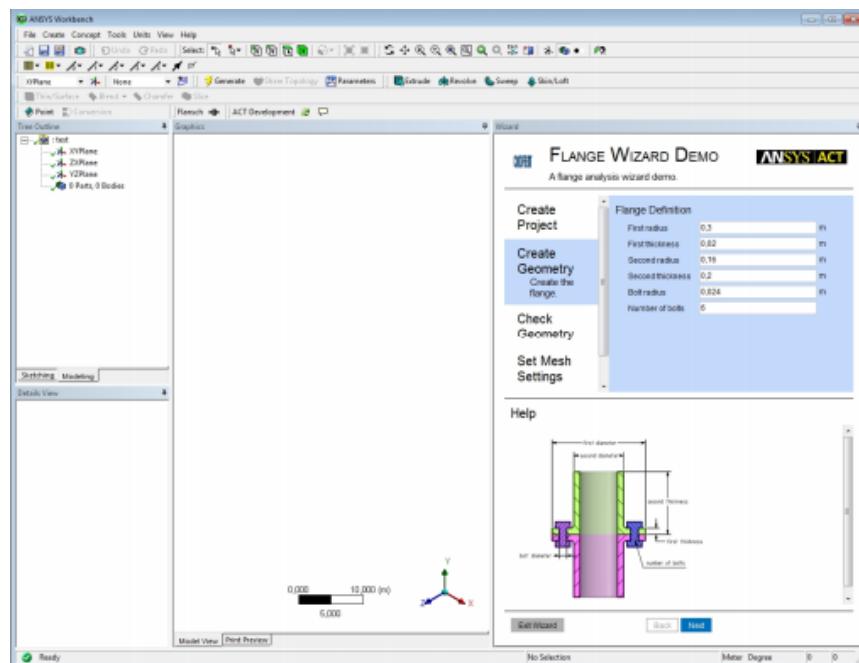


Рис. 1 – Пример работы Wizard, реализованного с помощью технологии ACT

Реализация расширений ACT возможна различными вариантами. Во-первых, существует возможность реализовать дополнительный пользовательский функционал через создание новых меню и кнопок в окнах требуемых инструментов (например, в окне Modeller), с помощью которых можно выполнять вызов форм или скриптов, для автоматизации определенных действий. Во-вторых, существует возможность создавать Wizard для выполнения настройки эксперимента шаг за шагом через интерфейс, пример представлен на рисунке 1. Например, как в данном случае на рисунке 1, работая с таким расширением можно выбрать понятных параметров шаг за шагом прийти к построению модели фланца с требуемой геометрией.

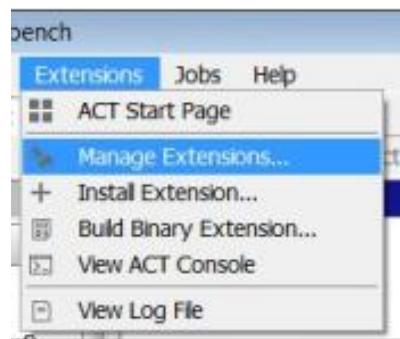


Рис. 2 – Инструменты ACT

Для разработки расширений ACT в 17 версии ANSYS существуют следующие инструменты: Extension Manager, ACT Console. Кроме этого существует возможность просмотра лога работы расширений, их компилирования, а также через страницу ACT Start Page можно выполнять создание Wizards. Выполнение разработки скриптов ведется на языке IronPython 2.7, который встроен в ANSYS.

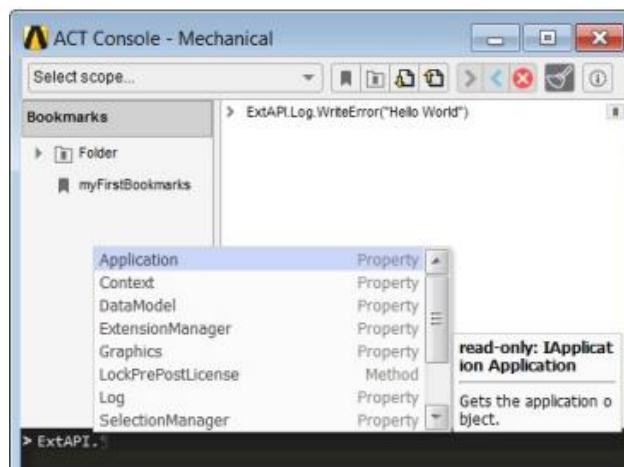


Рис. 3 – Окно ACT Console во время работы

Основным же инструментом для разработки и отладки приложений и скриптов для ACT является ACT Console. Преимуществом данного инструмента является возможность отладки скриптов в любом модуле ANSYS, который поддерживает ACT. Кроме этого в данном инструменте можно интерактивно выполнять команды, а также поиск методов и атрибутов объектов ANSYS с помощью встроенных функций type(), dir() и print(). Однако существует проблема с отладкой скриптов, заключающаяся в том, что в языке Python нет дебаггера, но его роль может выполнить дебаггер среды Microsoft Visual Studio, о настройке данной опции существует раздел в справке по работе с ACT.

Входной точкой для начала автоматизации с использованием ACT является интерфейс IExtAPI, расположенный в пространстве имён «Ansyst.ACT.Interfaces». Динамическая библиотека с этим интерфейсом располагается в папке %ANSYS172_DIR%\Addins\ACT\bin\Win64\ Ansyst.ACT.Interfaces.dll. Этот путь верен для версии ANSYS v17.2, для других версий пакета ANSYS переменная среды окружения будет иной. Для каждого расширения Workbench существует глобальная переменная ExtAPI, которая дает доступ к свойству DataModel типа IDataModel, которое возвращает объект для доступа ко всем интерфейсам верхнего уровня этого пакета.

Рассмотрим два основных:

- Project – открывает доступ к иерархии расчётного проекта, позволяет создавать исследования, связывать их и управлять файлами.
- Context – открывает доступ к контекстным командам и утилитам, не связанным непосредственно со структурой проекта.

В коде доступ к этим объектам будет выглядеть следующим образом:

```
import clr
clr.AddReference('Ansyst.ACT.Interfaces')
import Ansyst.ACT.Interfaces
project = ExtAPI.DataModel.Project
context = ExtAPI.DataModel.Context
```

Для облегчения подключения к функционалу ANSYS в поставку входят модули, которые можно подключить к своему коду вместо непосредственного обращения к dll. Эти модули лежат в папке %ANSYS172_DIR%\Addins\ACT\libraries\. В этой папке лежат следующие заголовочные файлы: DesignModeler.py, Mechanical.py, Project.py, SpaceClaim.py, Study.py. В отличие от вышеописанных некоторые модули невозможно определить, не зная контекста, в котором они должны быть использованы, например, модуль с материалами будет различным для конкретного исследования Static Structural и общего проекта, который может состоять из нескольких таких исследований. Для того, чтобы разрешить эту неопределенность подобные модули написаны отдельно для каждого контекста, например, materials.py существует в трех вариациях:

- libraries/Mechanical/materials.py
- libraries/Project/materials.py
- libraries/Study/materials.py

Пример использования модуля materials представлен ниже:

```
import materials
mat = ExtAPI.DataModel.GeoData.Assemblies[0].Parts[0].Bodies[0].Material
prop = materials.GetMaterialPropertyByName(mat, "Elasticity")
val = materials.InterpolateData(prop["Temperature"][[1:], prop["Young's Modulus"][[1:], 10.)
```

После того, как получен указатель на объект DataModel через него можно получить доступ ко всему функционалу, связанному с построением трехмерных моделей, сетки и граничных условий. Крайне скучное и неподробное описание методов, которыми обладает этот интерфейс можно найти в документе “ACT Developers Guide”, который можно скачать с официального сайта поддержки ANSYS. Пример задания автоматической упорядоченной сетки приведен ниже:

```
mesh = ExtAPI.DataModel.Project.Model.Mesh
mesh_method = mesh.AddAutomaticMethod()
mesh_method.Method = MethodType.AllTriAllTet
mesh_method.Algorithm = MeshMethodAlgorithm.PatchIndependent
mesh_method.MaximumElementSize = Quantity("0.05 [m]")
mesh_method.FeatureAngle = Quantity("12.000000000000002 [degree]")
mesh_method.MeshBasedDefeaturing = True
mesh_method.DefeaturingTolerance = Quantity("0.0001 [m]")
mesh_method.MinimumSizeLimit = Quantity("0.001 [m]")
mesh_method.NumberOfCellsAcrossGap = 1
mesh_method.CurvatureNormalAngle = Quantity("36 [degree]")
mesh_method.SmoothTransition = True
mesh_method.TetraGrowthRate = 1
```

В результате можно сказать, что разработка нового функционала с применением технологии АСТ помогает увеличить скорость выполнения типовых расчетов за счет того что часть действий, которые пользователь обычно выполняет во время работы будут выполняться автоматически. А в некоторых случаях, как например, при использовании визардов, так и совсем позволяет автоматизировать выполнение построения модели, настройки и выполнения расчета.

Список литературы / References

1. Free Engineering Simulation Software for Students [Electronic resource] // ANSYS Inc. - 2016. - URL: <http://www.ansys.com/products/academic> (accessed: 30.10.2016).
2. Python 2.7.13 documentation // Python Software Foundation. - 2016. -URL: <https://docs.python.org/2/> (accessed: 30.10.2016).

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.079

Никулин О.В.

ORCID: 0000-0002-4288-2473, Кандидат технических наук,

ООО «Управляющая компания «Татбурнефть», г. Альметьевск

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА БУРОВОГО НАСОСА

Аннотация

Рассмотрена система управления электроприводом постоянного тока бурового насоса. Описана функциональная схема электропривода бурового насоса, управляемого по системе тиристорный преобразователь – двигатель. Выявлены недостатки существующей системы управления, связанные с использованием контроллера и цифровой сети полевого уровня. Приведена статистика выхода из строя модулей контроллера и коммуникационных плат за 2014 – 2015 гг. Рассмотрены сигналы, передаваемые между пультом управления бурильщика и тиристорным преобразователем. Разработана система управления электроприводом бурового насоса без использования контроллера и цифровой сети.

Ключевые слова: электропривод, буровой насос, система управления.

Nikulin O.V.

ORCID: 0000-0002-4288-2473, PhD in Engineering,

Management Company Tatburneft, LLC

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM OF DC MOTOR MUD PUMP

Abstract

The control system of DC electric drive drilling pump is considered. A functional diagram of the electric drive mud pump is described. Deficiencies in the existing control system associated with a controller and digital field networks are identified. The statistics of failure of the controller modules and the com-telecommunication fees for 2014 – 2015. The signals transmitted between the remote driller and the thyristor is converted into by the user are reviewed. The control system of electric drive mud pump without using the controller and the digital network is developed.

Keywords: electric drive, mud pump, control system.

Значительное расширение задач при бурении нефтегазовых скважин, связанных с видом скважины – наклонно-направленные, горизонтальные и со специфическими условиями бурения, повышают требования к электроприводу (ЭП). Нерегулируемый электропривод буровых насосов (БН) лишь в минимальной степени отвечает современным требованиям технологии бурения и большую часть своей работы эксплуатируется в недогруженном режиме. Регулируемый электропривод позволяет по мере углубления скважины поддерживать давление на выходе бурового насоса постоянным. При выполнении этого условия электродвигатель полнее используется по мощности, что приводит к снижению потерь мощности в электродвигателе и снижению расхода электроэнергии.

Буровые насосы снабжаются сменными поршнями и втулками ряда диаметров. Использование сменных поршней и втулок разных диаметров представляет собой по существу ступенчатое регулирование выходных параметров насоса – подачи и давления. При регулируемом электроприводе для изменения подачи и давления достаточно изменять частоту вращения электродвигателя. Использование регулируемого электропривода позволяет сократить число используемых поршней и втулок, а также оптимизировать их смену, сократить время бурения и время простоя буровой бригады, связанного со сменой поршней и втулок. При этом применение регулируемого электропривода буровых насосов обеспечивает наиболее полное использование мощности насоса, возможность реализации оптимальных режимов бурения, сокращение аварийности, повышение показателей бурения в целом.

Схема «Тиристорный преобразователь – Двигатель постоянного тока», нашедшая применение в буровых установках, показана на рисунке 1. Схема состоит из тиристорного преобразователя ТП и двигателя постоянного тока ДПТ. Тиристорным преобразователем осуществляется питание постоянным током обмотки якоря ДПТ и обмотки возбуждения ОВ [1].

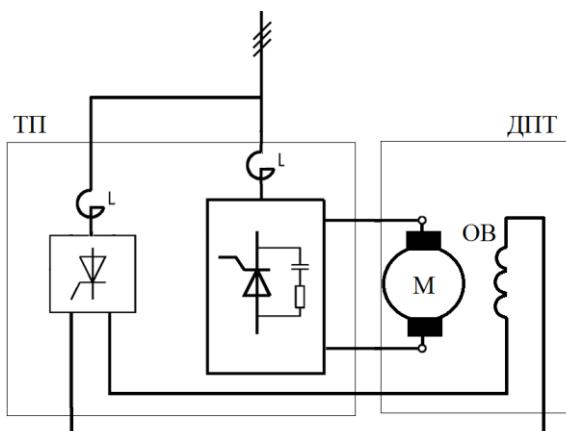


Рис. 1 – Схема «Тиристорный преобразователь – Двигатель постоянного тока»

На современных буровых установках (БУ) с ЭП постоянного тока для БН применяется система управления (рисунок 2), построенная по принципу подчиненного управления и включает в себя контур регулирования ЭДС двигателя и подчиненный ему контур регулирования тока. Регулятор ЭДС РЭ – пропорциональный (П-регулятор), тока РТ – пропорционально-интегральный (ПИ-регулятор).

Управление ЭП осуществляется с пульта бурильщика сельсинным командоаппаратом СК. Сигнал от СК через гальваническую развязку РГ и фазочувствительный выпрямитель ФВ поступает в модуль аналогового ввода контроллера. Контроллер включает в свой состав центральный узел – модуль контроллера – и набор модулей аналогового и дискретного ввода/вывода. Связь между модулем контроллера и модулями ввода/вывода осуществляется по CAN-интерфейсу. Модуль контроллера кроме CAN-интерфейса имеет также разъем для подключения к локальной сети PROFIBUS-DP, и разъем для подключения персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ), с помощью которого можно вводить обновленные и усовершенствованные версии программного обеспечения.

Контроллер предназначен для сбора дискретных и аналоговых сигналов с пульта бурильщика, обработки этих сигналов и передачи соответствующих данных по локальной сети PROFIBUS-DP в систему автоматического регулирования ТП. А также для приема данных, и вывода соответствующих аналоговых и дискретных сигналов на показывающие приборы и светосигнальную аппаратуру пульта бурильщика, включение пускателей вспомогательных приводов.

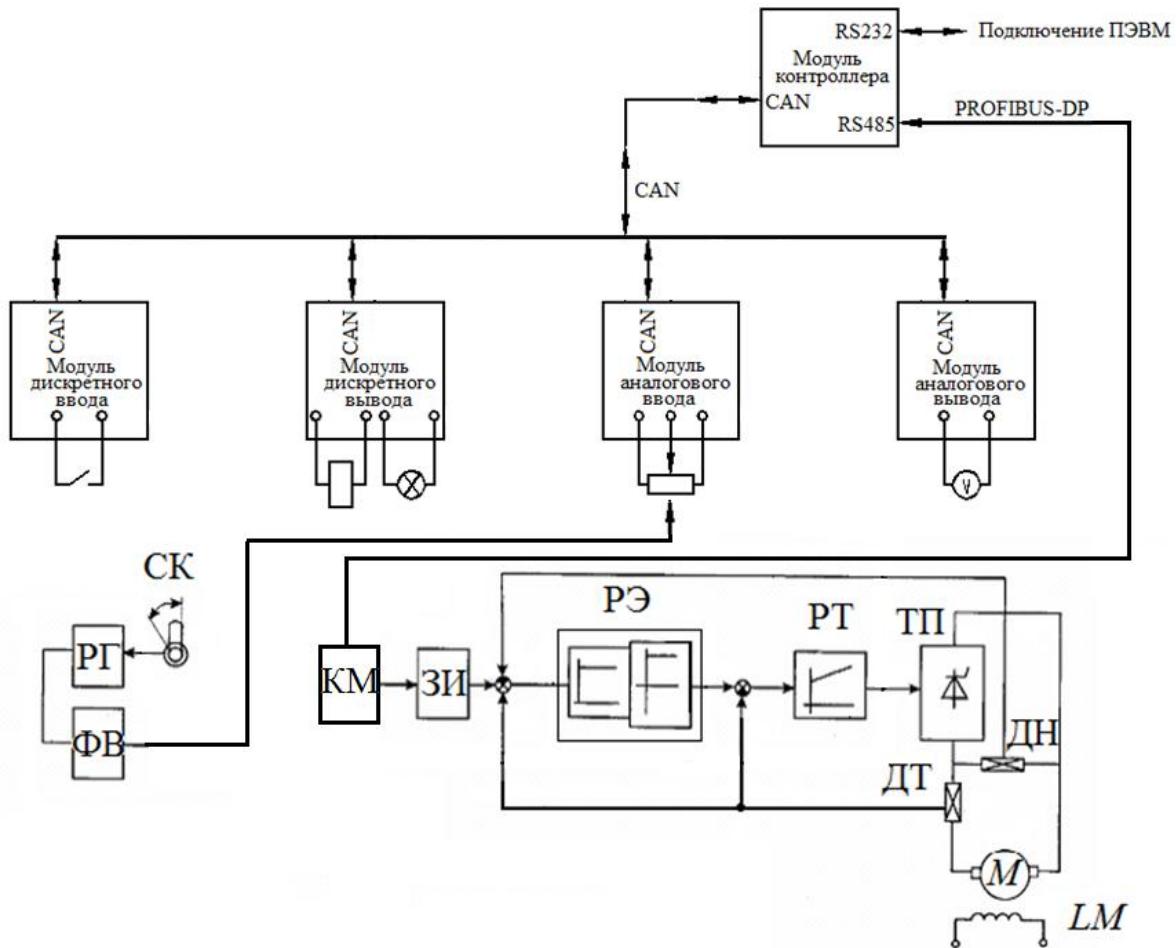


Рис. 2 – Функциональная схема электропривода бурового насоса, управляемого по системе тиристорный преобразователь – двигатель

В состав ТП входят преобразователи постоянного тока для питания обмотки якоря и обмотки возбуждения ЭД (рисунок 1), система импульсно-фазового управления СИФУ, платы клеммных входов/выходов (аналоговых и дискретных), система автоматического управления, коммуникационные модули, панель управления, датчики тока ДТ и напряжения ДН. Обмен данными между ТП и контроллером по сети PROFIBUS-DP осуществляется посредством коммуникационного модуля КМ.

В процессе эксплуатации БН с ЭП постоянного тока выявлен частый выход из строя модулей контроллера и коммуникационных плат в ТП, что приводит к останову процесса бурения и простою буровой бригады. В таблице 1 приведены количественные данные по выходу из строя указанных компонентов системы автоматического управления (САУ) в 2014 и 2015 гг. в ООО «УК «Татбурнефть» на десять БУ типа БУ-2000/125ЭП.

Таблица 1 – Количественные данные по выходу из строя модулей контроллера и коммуникационных плат за 2014 – 2015 гг.

Модуль контроллера	Модуль дискретного ввода	Модуль дискретного вывода	Модуль аналогового ввода	Модуль аналогового вывода	Коммуникационный модуль
2014 г.					
3	10	7	16	8	4
2015 г.					
3	7	5	14	5	3

Из таблицы 1 видно значительное количество выходов из строя модулей. Поэтому представляет интерес разработка системы управления БН без использования модулей контроллера и коммуникационных плат.

В таблице 2 приведено описание сигналов, передаваемых между модулем контроллера (пультом бурильщика) и САУ ТП.

Для приема и вывода дискретных и аналоговых сигналов в САУ ТП в новой схеме использована плата клеммных входов/выходов (расположена непосредственно в ТП), клеммы которой программируются.

Для реализации схемы была разработана управляющая программа «Direct Control TBN» [2], функциональная схема показана на рисунке 2.

Таблица 2 – Описание сигналов, передаваемых между пультом бурильщика и САУ ТП в стандартной и новой схеме

Описание сигнала	Тип сигнала в стандартной схеме	Тип сигнала в новой схеме
Включение насоса		Дискретный, из ПБ в САУ ТП
Задание скорости		Дискретный, из ПБ в САУ ТП
Обдув двигателя включен		Дискретный, из ПБ в САУ ТП (объединены последовательно)
Маслонасос включен		Дискретный, из ПБ в САУ ТП (объединены последовательно)
Насос охлаждения штоков включен		Изключен
Датчик кожуха замкнут		Дискретный, из ПБ в САУ ТП (объединены последовательно)
Превышение давления в манифольде		Дискретный, из ПБ в САУ ТП (объединены последовательно)
Работоспособность пульта бурильщика		Изключен
ТП готов		Дискретный, из САУ ТП в ПБ (объединены последовательно)
Управление разрешено		Дискретный, из САУ ТП в ПБ (объединены последовательно)
Превышение давления		Дискретный, из САУ ТП в ПБ (объединены последовательно)
Снят кожух		Дискретный, из САУ ТП в ПБ (объединены последовательно)
Обдув двигателя включен		Изключен
Маслонасос включен		Аналоговый, из САУ ТП в ПБ
Насос охлаждения штоков включен		Изключен
Ток якоря		
Число двойных ходов штока насоса		
Заданное число двойных ходов штока насоса		

Сигнал с пульта бурильщика ПБ при помощи кнопочных постов «Больше» и «Меньше» с сухими контактами поступает через дискретные входы платы клеммных входов/выходов в ТП на цифровой потенциометр САУ ТП, заданное значение скорости поступает на датчик интенсивности ЗИ, ограничивающий время спада и нарастания скорости, а затем на узел ограничения скорости УОС, с помощью которого можно регулировать максимальное значение тока.

Сигнал с узла УОС поступает на сумматор, на второй вход которого поступает сигнал с блока вычисления ЭДС E . Значения активного сопротивления обмотки якоря R_a и индуктивности L_a задаются программно, значения тока I_a и напряжения U_a поступают от датчиков тока и напряжения соответственно. ЭДС E вычисляется по выражению:

$$E = U_a - R_a \cdot I_a - L_a \cdot \frac{dI_a}{dt}$$

Результирующий сигнал по ЭДС, практически достаточно близкий к сигналу по скорости, подается на вход обратной связи регулятора скорости РС.

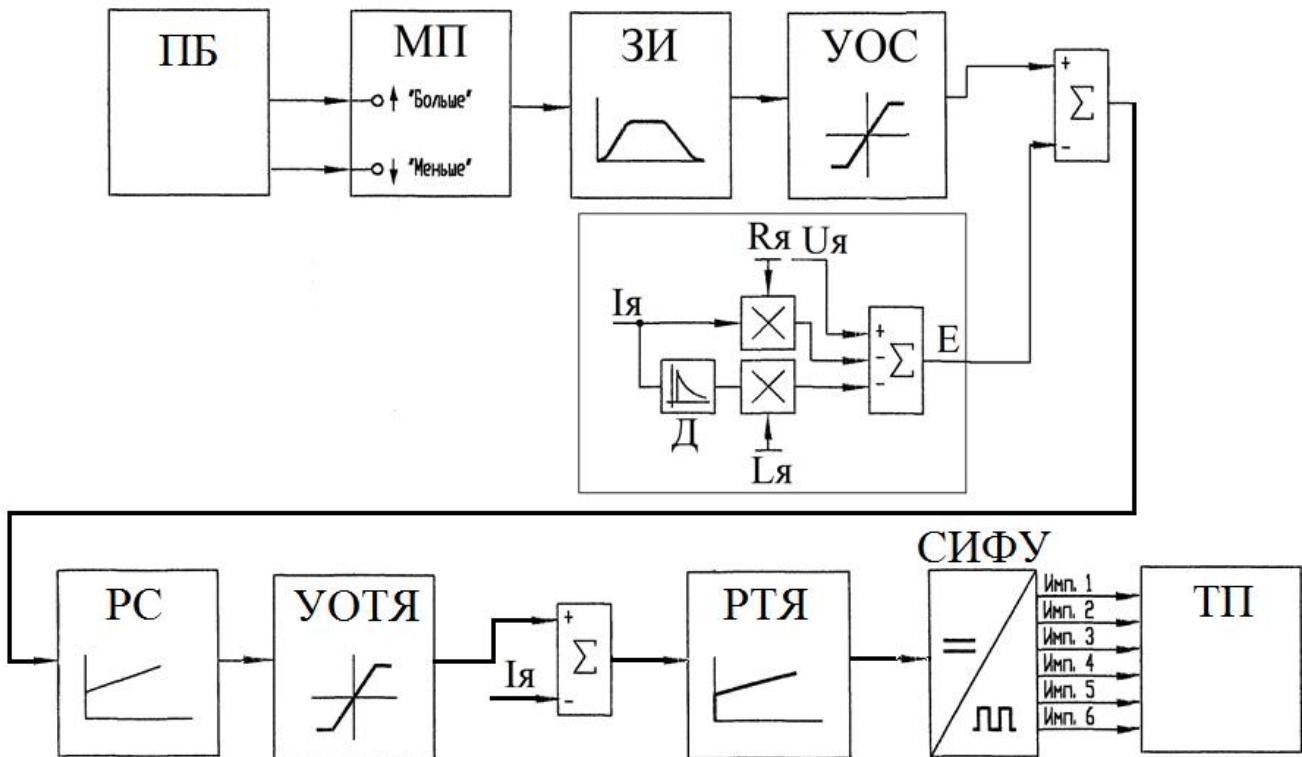


Рис. 2 – Функциональная схема электропривода бурowego насоса, управляемого по системе тиристорный преобразователь – двигатель, с без использования контроллера и коммуникационного модуля

В связи с тем, что привод БН допускает определенный статизм механической характеристики, регулятор скорости принимается пропорционального типа (П-регулятор). Выходной сигнал РС является сигналом задания тока якоря. Сигнал задания тока якоря поступает на узел ограничения тока якоря УОТЯ. Тем самым устанавливается максимальная величина тока.

На прямой вход регулятора тока РТ подается сигнал задания тока от РС и сигнал обратной связи по току от датчика тока. Регулятор тока принимается пропорционально-интегрального типа (ПИ-регулятор), что необходимо для обеспечения лучших статических и динамических характеристик электропривода. На выходе РТ формируется сигнал управления, поступающий в систему импульсно-фазового управления СИФУ, которая формирует импульсы на управляющих электродах тиристоров [3].

Перечисленные ниже функции регулирования могут быть настроены при помощи автоматического конфигурирования:

- конфигурирование регулятора тока для настройки регулятора;
- конфигурирование регулятора скорости для настройки его характеристик;
- автоматическая запись компенсации трения и момента инерции для управления регулятором скорости.

Дополнительно можно все параметры, настроенные при автоматическом конфигурировании, изменить вручную с панели управления.

Автоматическое конфигурирование (или «автоматическая настройка») – функция современных преобразователей постоянного тока, позволяющая автоматически корректировать настраиваемые параметры конфигурации без ручного вмешательства, без программной коррекции настроек или переключения специальных перемычек. Так, например, при автоматическом конфигурировании производится расчет и измерения активного сопротивления обмотки якоря, индуктивности, значение магнитного потока и т.д.

Разработанная система управления буровым насосом внедренная с начала 2016 г. исключила выходы из строя в системах управления, позволила сократить непроизводительное время при бурении скважин, годовой экономический эффект при этом составил более 10 млн. руб.

Список литературы / References

1. Шабанов В.А., Никulin О.В. Регулируемый электропривод буровых насосов и его влияние на электрическую сеть // Rogtec Российские нефтегазовые разработки, Выпуск 44, 2016, с. 70-81.
2. Никulin О.В., Стеняшин В.Ю., Газизуллин А.Р., Шарипов Р.М. / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661647 Direct Control TBN. Заявл. 29.08.2016. Дата регистрации 17.10.2016.
3. Моцохейн Б.И., Парфенов Б.М., Шпилевой В.А. Электропривод, электрооборудование и электроснабжение буровых установок. – Тюмень, 1999. – 263 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shabanov V.A., Nikulin O.V. Reguliruemuj jelektroprivod burovyh nasosov i ego vlijanie na elektricheskiju set' [Adjustable electric mud pumps and its influence on electric network] // Rogtec Rossijskie neftegazovye razrabotki [Russian oil and gas development], V 44, 2016, s. 70-81. [in Russian]

2. Nikulin O.V., Stenjashin V.Ju., Gazizullin A.R., Sharipov R.M. / Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2016661647 Direct Control TBN [The certificate on the state registration of the computer program]. Zajavl. 29.08.2016. Data registracii 17.10.2016. [in Russian]
3. Mocohejn B.I., Parfenov B.M., Shpilevoj V.A. Jelektroprivod, jelektrooborudovanie i jekletrosnabzhenie burovyh ustanovok. [Electric, electrical and electricity supply drilling rigs] – Tjumen', 1999. – 263 s. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.173

Селиванов К.В.

ORCID: 0000-0003-2938-5621, Кандидат технических наук,

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

АНАЛИЗ СПОСОБОВ МАЛОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация

Приведена классификация зон электроснабжения и их градация по обеспеченности топливо-энергетическими ресурсами. Обоснована необходимость повышения эффективности энергоснабжения и увеличения электрификации изолированных зон электропотребления. Проведен анализ различных способов электроснабжения удаленных потребителей. Установлена низкая эффективность электрификации малых удаленных потребителей способом прокладки линий электропередач. Приведен расчет, построен график зависимости возможной протяженности линий электропередач от передаваемой мощности. Представлены альтернативные виды малой распределенной энергетики: солнечная энергетика, биоэнергетика, ветровые и приливные электростанции. Сделано заключение о превалирующей распространенности дизельных электростанций для электропитания потребителей электроэнергии в удаленных изолированных зонах. Приведены положительные качества дизельных электрогенераторов и проблемы, требующие решения для повышения эффективности их эксплуатации.

Ключевые слова: электроснабжение, зоны электроснабжения, линии электропередач, малая распределенная энергетика, дизельные электростанции, качество электроснабжения, электрификация.

Selivanov K.V.

ORCID: 0000-0003-2938-5621, PhD in Engineering,

Bauman Moscow State Technical University

ANALYSIS OF THE LAW DISCIBUTED ELECTRICAL POWER SUPPLY METHODS

Abstract

Classification of electrical power supply zones and their gradation by fuel and energy resources availability are given. Need for energy efficiency enhancement in insulated power consumption zones is proven. Analysis of various methods of power supply to remote consumers has been performed. Low efficiency of small remote consumers' electrification by means of electrical power lines laying is established. The calculation is given; the diagram of probable power line length dependence on transmitted power is built. Alternative types of low distributed power production such as photovoltaics, bioenergetics, wind and tidal power plants are described. The conclusion on prevailing popularity of diesel power plants for electrical power supply to electrical power consumers in remote insulated zones is made. Advantages of diesel power generating units and challenging problems which should be solved for the purposes of operational efficiency enhancement are given.

Keywords: electrical power supply, electrical power supply zones, electric power lines, low distributed power production, diesel power plants, electrical power supply quality, electrification.

Энергоснабжение в целом можно назвать кровеносной системой народного хозяйства и экономики России. Основной частью энергоснабжения является электрификация, значимость которой сложно переоценить для населения страны и народного хозяйства. Большая площадь государства, малая населенность некоторых областей и наличие удаленных промышленных и ресурсодобывающих предприятий, проблемы генерации и передачи электроэнергии оставляют проблему электрификации актуальной и в настоящий момент.

На данный момент существует разделение электроснабжения по централизации на три зоны:

- экономически развитая зона централизованного (объединенного) электроснабжения;
- зоны, не принадлежащие к общей системе электроснабжения с крупным собственным централизованными энергоузлом;
- изолированные зоны с небольшими энергоузлами и (или) собственными источниками малой распределенной энергетики.

Предметом исследования данной статьи являются проблемы электроснабжения изолированных зон с небольшими энергоузлами и малой распределенной электроэнергетикой. К данной группе потребителей электроэнергии относятся малонаселенные области, удаленные и малые предприятия различных отраслей народного хозяйства, находящиеся в изолированных зонах. Географическое расположение потребителей данного вида – преимущественно Дальний Восток, Сибирь и районы Севера. В областях с высокой и средней плотностью населения также существуют предприятия, изолированные от центрального электроснабжения, примером можно привести лесозаготовительные предприятия. Причиной изоляции является их значительная удаленность от населенных пунктов и распыленная география лесозаготовок.

Существует градация изолированных зон электропотребления [1] по степени обеспеченности топливо-энергетическими ресурсами (ТЭР):

1. Зоны, обладающие собственными крупными ТЭР, их освоенными месторождениями, и способные самостоятельно обеспечивать свою потребность в электроэнергии (Ханты-Мансийский, Ненецкий и Ямало-Ненецкий

автономные округа, Республика Коми, Мурманская и Тюменская области и др.);

2. Зоны, не имеющие собственных крупных ТЭР, но хорошо обеспеченные ими за счет развитой инфраструктуры, крупных линий электропередач (ЛЭП) из донорских смежных областей;

3. Зоны с отсутствием собственных ТЭР и затрудненной их доставкой в необходимых объемах.

Неэлектрифицированные изолированные зоны имеют высокую промышленную значимость, на их территории расположены такие важные отрасли народного хозяйства, как предприятия аграрного комплекса (сельскохозяйственные угодья, области активного земледелия, скотоводства, оленеводства и пушного звероводства, рыболовства и охотничьего промысла) и сырьевого сектора (добыча руды, драгметаллов, углеводородов и лесозаготовки).

Обеспечение надежного и качественного электро- и энергоснабжения малых удаленных поселений и производственных областей, распыленных по территории России в настоящий момент, является технической и экономической проблемой.

Одним из вариантов решения этой проблемы может быть их подключение к централизованным источникам электроэнергии путем строительства линий электропередач (ЛЭП) небольшой мощности или с помощью использования электроэнергии, полученной из альтернативных источников.

Возможность строительства ЛЭП к потребителю электроэнергии определяется двумя наиболее важными критериями – установленная мощность объекта электрификации и его удаленность от ближайшего пункта присоединения к централизованной ЛЭП.

Существует параметр, определенный ГОСТ Р 54149-2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», на допустимое колебание напряжения в линиях электропередач, которое должно быть в пределах $\pm 5\%$. Отклонение напряжения относительно оптимального значения может быть выражено формулой [2,3]

$$\Delta U\% = \frac{P \times l \times 10^5}{c \times S \times U^2 \times \gamma} \quad (1)$$

где:

ΔU – отклонение напряжения относительно номинального значения, %;

P – мощность передачи, кВт;

l – длина линии электропередач, м;

c – коэффициент, характеризующий потерю напряжения в линии электропередачи;

S – сечение провода, мм^2 ;

U – номинальное напряжение в линии электропередачи, В;

γ – удельная проводимость материала провода, сим ($\text{м}/(\text{Ом} \times \text{мм}^2)$).

Минимальное сечение проводника (провод) в ЛЭП невысокой мощности (до 160 кВт) чаще определяется фактором механической прочности. Прочностные характеристики ЛЭП должны противостоять механическим повреждениям и нагрузкам, создаваемым ветром, снегом и обледенением. Минимально удовлетворяющим нагрузочным характеристикам является провод с сечением не ниже $S = 16 \text{ мм}^2$. Линии электропередач с проводами данного сечения рассчитаны на передаваемую мощность до 160 кВт. Общепринятым является выполнение ЛЭП малой мощности в сельской или малонаселенной пересеченной местности из алюминиевого провода, удельная проводимость которого $\gamma = 32,2 \text{ Сим} (\text{м}/(\text{Ом} \times \text{мм}^2))$.

Определяющим фактором строительства ЛЭП от места подключения до потребителей можно определить по формуле

$$l = \frac{c \times S \times \gamma \times U^2 \times \Delta U}{P \times 10^5}. \quad (2)$$

Зависимость возможной протяженности линий электропередач с данными показателями от передаваемой мощности представлена на графике (рис. 1).

Из графика видно, что использование более высокого распределительного напряжения позволяет увеличить протяженность ЛЭП при одинаковой нагрузке и сечении проводника. К сожалению, бесконечное увеличение напряжения не представляется возможным; так, при 36 кВ линии с нагрузкой в 250 кВт и теми же характеристиками возможно протянуть на 125 км, однако в этом случае ЛЭП будут работать с низким коэффициентом загрузки, в режимах, близких к режиму холостого хода.

Для большинства электропотребителей в зонах отсутствия ТЭР и слаборазвитой инфраструктуры электрификация с помощью строительства ЛЭП нецелесообразна ввиду дороговизны строительства и последующей эксплуатации ЛЭП.

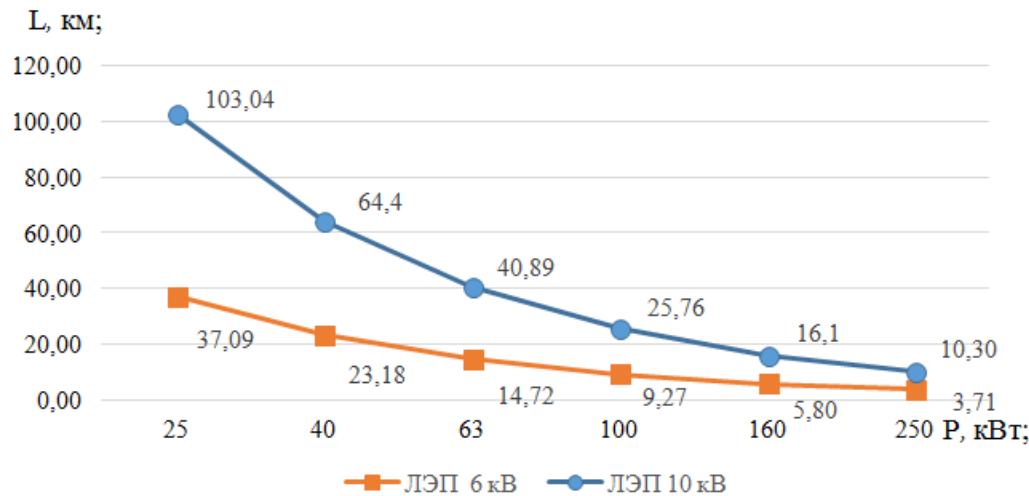


Рис. 1 – Протяженность линий электропередач в зависимости от передаваемой мощности

Альтернативой строительства ЛЭП является использование малой распределенной электроэнергетики (МРЭ). МРЭ получила широкое распространение в изолированных зонах электроснабжения со сложной географией. В настоящий момент МРЭ включает порядка 50 000 тыс. электростанций, чья общая мощность составляет 17 млн. кВт. Общая генерация электростанций МРЭ составляет 5% вырабатываемой электроэнергии в стране [4].

Широкое распространение в МРЭ получили дизельные электростанции (ДЭС) благодаря большому диапазону вырабатываемой мощности от 2кВт до 2,5МВт; в зависимости от необходимого объема электропотребления выбирается ДЭС соответствующей мощности. Малый удельный расход топлива на единицу вырабатываемой энергии и распространенность дизельного топлива увеличивают рентабельность вырабатываемой электроэнергии данным методом. К преимуществам ДЭС перед другими альтернативными источниками электроэнергии можно отнести высокий ресурс работы (в среднем до 40 000 моточасов непрерывной работы), высокую мобильность, простоту монтажа и эксплуатации, высокую надежность и ремонтопригодность.

Несмотря на значительный срок успешной службы, ДЭС имеют ряд недостатков и трудностей при эксплуатации, от успеха решения которых зависит эффективность дальнейшего применения указанного метода электрогенерации. Высокая степень изношенности парка эксплуатируемых генераторов и отсутствие возможности компенсации неравномерности электропотребления значительно снижают КПД данного способа электрогенерации. Совокупность получаемого невысокого КПД работы ДЭС и все время повышающаяся цена на дизельное топливо и логистические затраты его поставок, возникающие при обеспечении их работы, еще больше поднимают себестоимость вырабатываемой ими электроэнергии.

В настоящий момент себестоимость 1 Вт генерируемого ДЭС превышает тарифную стоимость электроэнергии для физических лиц. Более высокие расценки на электроэнергию для промышленных потребителей не компенсируют сложившуюся ситуацию, ввиду чего данная отрасль является дотационной со стороны государства.

Рост и развитие любой дотационной отрасли народного хозяйства напрямую зависят от фактического состояния экономики государства, спонсирующего данную отрасль, что пагубно влияет на развитие отрасли и исключает положительное влияние открытого рынка.

Попытки решить возникающие трудности при эксплуатации ДЭС нашли себя в разработках альтернативных способов получения электроэнергии и их применении в качестве генерирующих средств малой распределенной энергетики. К наиболее распространенным альтернативным источникам электроэнергии можно отнести солнечные батареи, малые гидрогенераторные станции на горных реках, ветровые электрогенераторы, электрогенерирующие станции приливов и отливов, генераторы на биотопливе и прочие. Большого распространения и существенной доли в общем количестве генерируемой электроэнергии ни один из вышеперечисленных способов не получил.

Основным недостатком большинства способов генерации альтернативной электроэнергетики является необходимость привязки электрических станций к источникам выработки электроэнергии. Так, если ДЭС можно легко транспортировать к месту непосредственного электропотребления, а топливо доставлять туда же, то ветровые, приливные, гидрогенерирующие и другие виды электрогенерации могут располагаться только в определенных местах, которые, как правило, своим местоположением удалены от потребителя электроэнергии. Вырабатываемая ими мощность не постоянна и зависит от внешних факторов.

Лишены недостатков привязки к местности и могут вырабатывать необходимую мощность способы альтернативной электроэнергетики на основе использования различных видов биотоплив. Самым распространенным из способов генерации электроэнергии с использованием биотоплив является электрогенератор, работающий на биотопливе. Обычно используют в качестве биотоплива дизельное топливо с присадкой в 5-35% растительной составляющей, например, рапсового масла, однако встречаются варианты с использованием 100% растительного биотоплива.

Использование и производство различных смесей биотоплив являются нерентабельными при современной цене на нефть в области 50\$. Также существует моральный аспект данной проблемы, заключающийся в том, что, когда в некоторых областях Земли существует голод, приходится засаживать огромные площади рапсовыми культурами, которые истощают земли и делают их непригодными в течение нескольких следующих лет для земледелия и

производства сельскохозяйственной продукции. Также процесс производства топлива на рапсовом масле или топлива с добавлением рапсового масла трудоемок и технически сложен. Отдельно стоит отметить, что использование биотоплив требует адаптации двигателей и имеет побочные отрицательные эффекты, не присущие дизельному и бензиновому топливу в чистом виде [5].

В части преобразования солнечной энергии в электроэнергию опыт зарубежных стран показал, что в настоящий момент использование солнечных батарей в качестве генераторов электроэнергии неэффективно и в данный момент нерентабельно, в некоторых случаях солнечные батареи, выработав свой срок эксплуатации и будучи демонтированными или замененными на новые, за время эксплуатации не компенсировали своей себестоимости в пересчете затраченных средств на эквивалент выработанной электроэнергии. Несмотря на убыточность солнечной электроэнергетики, в настоящий момент ряд выдающихся ученых, среди которых нобелевский лауреат Жорес Алферов, считают, что будущее электроэнергетики как раз в преобразовании энергии Солнца. Солнечная энергетика будет развиваться и со временем станет основной, уже сегодня ее рекордный коэффициент полезной мощности составляет 40%, в начале исследований по получению электроэнергии из солнечной энергии в 1954 году КПД составлял 6%. В настоящий момент в России доля получаемой электроэнергии по средствам преобразования солнечной энергетики исчезающе мала.

Проведенный анализ способов электроснабжения удаленных и изолированных электропотребителей и средств малой распределенной электроэнергетики показал, что в настоящий момент основная доля выработки электроэнергии в этом секторе приходится на ДЭС. Именно на повышение эффективности работы ДЭС, обеспечение качества генерируемой электроэнергии и надежности их работы как самого значимого производителя малой распределенной электроэнергетики необходимо сосредотачивать усилия научной мысли и промышленного производства.

Список литературы / References

1. Суржикова, О. А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России / О. А. Суржикова // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3 (4). – С. 103–108.
2. ГОСТ Р 54149-2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
3. Сивков, А. А. Основы электроснабжения: учебное пособие / А. А. Сивков, Д. Ю. Герасимов, А. С. Сайгаш // Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 180 с.
4. Суринов, А.Е. Российский статистический ежегодник / Е. А. Сурин, Н. С. Бугакова и др. // М.: Стат.сб. / Росстат. - Р76. 2015г. – 728 с.
5. Селиванов, К. В. Проблемы диагностирования дизелей лесозаготовительных машин работающих на биотопливе / Ю. А. Шамарин, В. И. Панферов, В. М. Корнеев // М.: Лесной вестник / Вестник Московского государственного университета леса. № 5(81). – 2011г. – с. 46-49.
6. Попель, О. С. Перспективные применения возобновляемых источников энергии – в мировой практике и в России. Научная конференция фонда Сколково. Презентация. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosbook.ru/node/36164> (05.11.2014).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Surzhikova, O.A. Problemy i osnovnye napravlenija razvitiija jelektrosnabzhenija udalennyh i malonaselennyh potrebitelej Rossii [Problems and main directions of development of power supply in remote and sparsely populated Russian consumers] / O.A. Surzhikova // Vestnik nauki Sibiri [Bulletin Siberia Science]. – 2012. – № 3 (4). – P. 103–108. [in Russian]
2. GOST R 54149-2010 «Normy kachestva jeklektricheskoy jenergii v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija» [Power quality limits in public electrical systems]. [in Russian]
3. Sivkov, A.A. Osnovy jelektrosnabzhenija: uchebnoe posobie [Fundamentals of electricity: a training manual]/ A.A. Sivkov, D.Ju. Gerasimov, A.S. Sajgash; Tomskij politehnicheskij universitet. [Tomsk Polytechnic University] – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2012. – 180 P. [in Russian]
4. Surinov, A.E. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik [Russian Statistical Yearbook] / Surin E.A., Bugakova N.S. i dr. // 2015: Stat.sb. / Rosstat. - R76 M., 2015. – 728 P. [in Russian]
5. Selivanov, K.V. Problemy diagnostirovaniya dizelej lesozagotovitel'nyh mashin rabotajushhih na biotoplive [Problems logging diagnosing diesel cars running on biofuels] / Ju.A. Shamarin, V.I. Panferov, V.M. Korneev // M.: Lesnoj vestnik [Forest Gazette] / Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa [Bulletin of Moscow State Forest University], № 5(81) – 2011. – P. 46-49. [in Russian]
6. Popel', O.S. Perspektivnye primenenija vozobnovljaemyh istochnikov jenergii – v mirovoj praktike i v Rossii [Prospective application of renewable energy sources - in the world and in Russia]. Nauchnaja konferencija fonda Skolkovo. Prezentacija [Scientific conference Skolkovo Fund. Presentation]. (Jelektronnyj resurs) [Electronic resource] URL: <http://www.gosbook.ru/node/36164> (05.11.2014).

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.152

Скиба В.Ю.¹, Иванцivский В.В.², Скиба П.Ю.³, Анваров Ю.М.⁴

¹ORCID: 0000-0002-8242-2295, Кандидат технических наук, доцент,

²доктор технических наук, доцент; ³студент; ⁴студент,

Новосибирский государственный технический университет

ГИБРИДНАЯ ОБРАБОТКА: ИНТЕГРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ И ФИНИШНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИЙ НА ОДНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Аннотация

В работе приведен сравнительный анализ двух гибридных технологий обработок, основанных на интеграции механических операций (абразивного шлифования или точения) и поверхностной закалки токами высокой частоты на одном технологическом оборудовании. Установлено, что в условиях предложенного принципа интегрирования, позволяющего осуществлять обработку деталей от одной технологической базы, становится возможным повысить качество поверхностного слоя изделий. Экспериментально подтверждено, что малая величина припуска на окончательную механическую обработку (выхаживание), гарантирует отсутствие дефектов в виде локальных зон отпуска и обеспечивает деформационное упрочнение поверхности детали. Это приводит к формированию наклепанного слоя толщиной 0,01...0,03 мм, повышению значения микротвердости на 12...17% и уровня сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое соответственно на 10...21%.

Ключевые слова: металлообрабатывающий станок, гибридная обработка, абразивное шлифование, высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты.

Skeeba V.Yu.¹, Ivancivsky V.V.², Skeeba P.Yu.³, Anvarov Yu.M.⁴

¹ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor,

²PhD in Engineering, Associate professor; ³Student, ⁴Student,

Novosibirsk State Technical University

HYBRID PROCESSING: INTEGRATION OF SURFACE-THERMAL AND MECHANICAL FINISHING OPERATIONS ON A SINGLE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Abstract

The comparative analysis of the two hybrid process technologies, which are based on the integration of mechanical treatment (abrasive grinding) and a surface heat strengthening by high frequency current on the same processing equipment, is given in the paper. The acquired results demonstrate that the suggested integrating approach allows carrying out the processing on the one technological base, which leads to the increase in the quality of the machine parts surface layer. The conducted experimental research proves that a minor stock allowance value for the final mechanical processing (sparking out) ensures the absence of defects such as local abatement zones and provides strain hardening of the work piece surface. This leads to the formation of the work-hardened layer of 0.01 - 0.03 mm, increase in microhardness value by 12 - 17% and the level of residual compressive stress in the surface layer by 10 - 21 % respectively.

Keywords: metal working machine, hybrid processing, abrasive grinding, high-energy heating by high frequency currents.

Введение

Одной из главных задач, решаемой на стадии проектирования любого изделия, является повышение качества изготовления детали и увеличение срока ее службы. На эксплуатационные свойства деталей машин наряду с геометрическими параметрами большое влияние оказывает физико-механическое состояние поверхностного слоя. Поэтому, все большее распространение находят методы поверхностной закалки с использованием объемных концентрированных источников тепла: высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ) и обработка электронным лучом в атмосфере (КЭП) [1-8]. Для деталей машин, подвергнувшихся поверхностному упрочнению посредством ВЭН ТВЧ и КЭП, с целью получения окончательной геометрической и размерной точности, а также шероховатости поверхности технологией изготовления изделий предусмотрена операция чистовой механической обработки.

Самым распространенным и производительным процессом финишной механической обработки является абразивное шлифование. Данный процесс характеризуется высокой теплонапряженностью в зоне резания, что может повлечь за собой изменение комплекса физико-механических свойств, достигнутого на стадии термического упрочнения. Одним из вариантов борьбы с отрицательными явлениями при абразивном шлифовании является уменьшение припуска на обработку. Но операции поверхностной закалки и финишной обработки в технологическом процессе изготовления деталей машин являются разделенными, т.е. выполняются на различном технологическом оборудовании. Недостатком такого подхода является то, что припуск на финишную обработку должен быть достаточно большим, поскольку необходимо предусмотреть не только остаточные деформации, неизменно появляющиеся после термообработки, но и погрешности переустановки, а так же погрешности, возникающие на предыдущих стадиях технологического процесса. В результате чего наблюдается спад производительности и нерациональное использование энергии: первоначально на стадии термической операции необходимо упрочнить деталь на большую глубину, а затем на финишной механической операции удалить наиболее эффективный поверхностный слой.

Одним из вариантов решения данной проблемы является объединение двух стадий технологического процесса – поверхностного упрочнения и финишной обработки – на одном оборудовании [9 - 15]. При этом процесс обработки деталей осуществляется по схеме: чистовая обработка – поверхностно-термическое упрочнение – выхаживание (рис. 1).

Процесс выхаживания можно отнести к одним из методов упрочнения материала, так как абразивные зерна в этом случае практически не совершают процесс резания, а осуществляют пластическую деформацию обрабатываемого материала. В некоторых работах данный процесс по эффекту упрочнения сопоставляют с ультразвуковой

упрочняющей обработкой, так как шлифование является единственным видом механической обработки, которому присуще самовозбуждение ультразвуковых вибраций. В связи с этим при осуществлении процесса выхаживания непосредственно после поверхностной закалки следует ожидать дополнительного эффекта в упрочнении поверхностного слоя, а, следовательно, и изменения характера распределения остаточных напряжений по глубине материала.

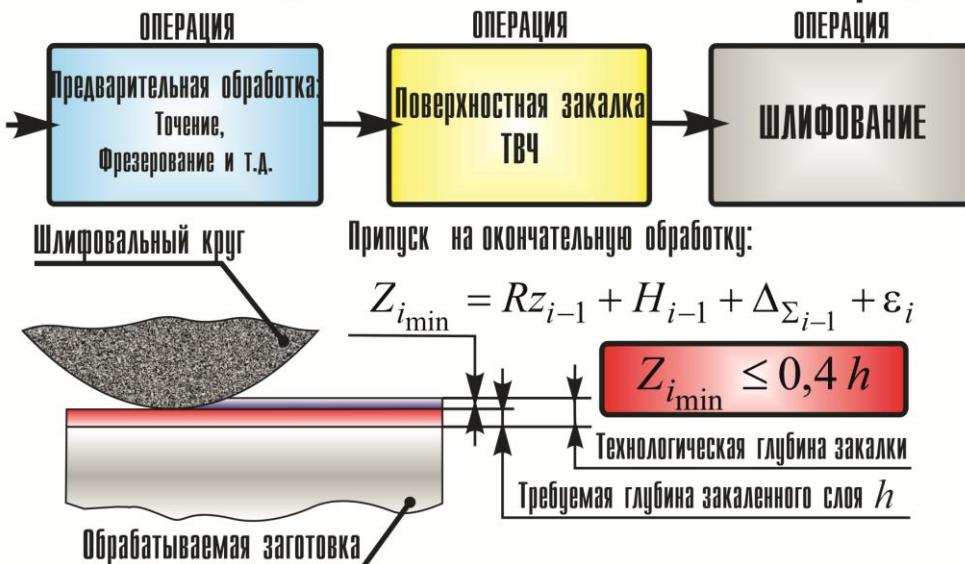
Методика экспериментального исследования

В качестве образцов использовались: пластины с геометрическими параметрами 100x10x5 мм и цилиндрические прутки диаметром $d = 50$ мм и длиной $l = 70$ мм, изготовленные из стали 45. Определение состава исходного материала происходило на оптико-эмиссионном спектрометре ARL 3460.

Для интеграции процессов механической и поверхностной термической обработок была произведена модернизация плоскошлифовального станка модели ЗГ71, заключающаяся в оснащении станочной системы дополнительным концентрированным источником энергии, в качестве которого использован выносной закалочный контур, реализующий высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭНТВЧ). В качестве источника энергии использовали генератор ВЧГ 6 - 60/0,44 с рабочей частотой тока $\omega = 440 \cdot 10^3$ Гц.

В процессе поверхностной закалки использовался петлевой индуктор, оснащенный ферритом марки N87. Нагрев осуществлялся по глубинной схеме непрерывно-последовательным способом. При этом толщина упрочненного слоя не превышала глубины проникновения тока в горячий металл – 0,6...0,8 мм. Режимы обработки: удельная мощность источника $q_i = (1.5 - 4.0) \cdot 10^8$ Вт/м², скорость перемещения детали под индуктором $V_d = (0.05...0.1)$ м/с. Ширина активного провода индуктора составляла $B_u = 2$ мм, обработка осуществлялась с зазором $\Delta = 0.1...0.2$ мм.

Финишная стадия типового технологического процесса



Финишная стадия с использованием интегрированной обработки



Припуск на окончательную обработку:

$$Z_{i\min} = \Delta_{\Sigma_{i-1}} \Rightarrow Z_{i\min} \leq 0,03 h$$

Rz_{i-1}, H_{i-1} – шероховатость поверхности и глубина дефектного слоя на предшествующей операции (переход);

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ – суммарные отклонения расположения поверхности, полученные на предшествующей операции (переход);

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемой операции.

Рис.1 – Финишная стадия технологического процесса

Использовалось интенсивное водяное (душевое) охлаждение поверхности.

Аbrasивное шлифование закаленной и незакаленной стали, с учетом рекомендаций, осуществлялось кругами марок по ГОСТ Р 52781-2007: 1 250x32x76 25A F60 L 6 V 35 м/с 2кл.; 1 250x32x76 25A F46 L 6 V 35 м/с 2кл. Режимы обработки: скорость круга $V_k = 35$ м/с, продольная подача варьировалась в диапазоне $V_d = 5...20$ м/мин. Поскольку

высота круга была больше ширины обрабатываемой заготовки (10 мм), то использовалась схема врезного шлифования. В этом случае, поперечная подача S_p отсутствовала, а подачу на глубину шлифования t осуществляли дискретно на каждый ход стола.

Исследование структуры проводили на оптическом микроскопе *Carl Zeiss Axio Observer Z1m* и на растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO 50 XVP*, который был оснащен энергодисперсионным анализатором *INCA X-ACT (Oxford Instruments)*. Для выявления микроструктуры образцов применялось травление 5 %-ным спиртовым раствором азотной кислоты и насыщенным раствором пикриновой кислоты в этиловом спирте с добавлением поверхностно активных веществ.

Для оценки микротвёрдости упрочненного поверхностного слоя деталей использовался прибор *Wolpert Group 402MVD*. Для исследования остаточных напряжений применялся механический разрушающий метод (послойное электролитическое травление образца) и рентгеновский метод, осуществляемый на дифрактометре высокого разрешения *ARL X'TRA*. Выявление дефектов поверхностного слоя на каждом из технологических переходов осуществлялось с использованием: визуально-оптического метода с применением микроскопа *Carl Zeiss Axio Observer A1m*; капиллярного метода; токовихревого метода с применением вихретокового дефектоскопа ВД – 70. Оценка топографии поверхности производилась на лазерном профилограф-профилометре *Zygo New View 7300*. Измерение отклонения формы, волнистости и шероховатости поверхности производили на профилограф-профилометре *Form Talysurf Series 2* фирмы *Taylor Hobson*.

Результаты и обсуждение

При обработке стали 45 по предлагаемой комбинированной схеме поверхностная закалка ВЭН ТВЧ осуществлялась при режимах: удельная мощность нагрева $2,4 \cdot 10^8$ Вт/м², скорость перемещения источника 50 мм/с, размер источника 2,4 мм. В результате было получена глубина упрочнения 0,8 мм с твердостью на поверхности HV₂₀ = 10100 МПа. Последующий переход – выхаживание осуществлялось кругом (ГОСТ Р 52781-2007): 1 250×32×76 25A F90 (F60, F46) К 6 (К 7, L 6, Р 6) V 35 м/с 2 кл. при скорости круга $V_k = 30$ м/с и скорости детали $V_d = 40$ м/мин, в течении 20 с, при этом поверхностная твердость материала повысилась до значения HV₂₀ = 11200 МПа. Естественно, что повышение твердости носит локальный характер и распространяется на глубину лишь нескольких сотых миллиметров. Однако это приводит и к изменению характера распределения остаточных напряжений (рис. 2).

При этом данное изменение состояния поверхностного слоя даже на незначительную глубину должно отразиться и на эксплуатационных свойствах данного изделия. Результаты экспериментальных исследований показали, что операция выхаживания способствует увеличению контактно-усталостной прочности. Так, для образцов из стали 45, прошедших закалку ВЭН ТВЧ и последующее выхаживание, было зафиксировано повышение контактно-усталостной прочности на 16,4% по отношению к образцам, подвергнутых только лишь поверхностной закалки.

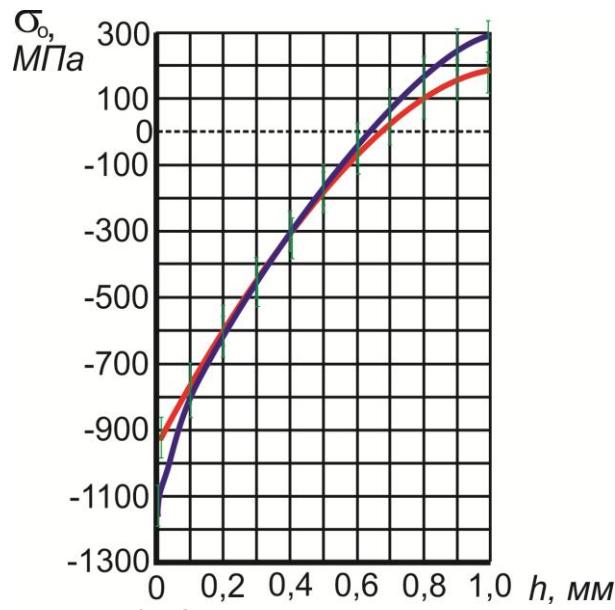


Рис. 2 – Осевые остаточные напряжения

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемая комбинированная обработка позволяет не только повысить производительность обработки и снизить энергозатраты на финишной стадии технологического процесса, но и повысить качество поверхностного слоя, за счет получения суммарного эффекта двойного упрочнения: закалка ВЭН ТВЧ и выхаживание.

Подводя итог, необходимо добавить, что для обеспечения заданных показателей качества упрочненного слоя: глубина, твердость, знак и величина остаточных напряжений, необходимо разработать методику назначения технологических режимов обработки изделия. На первом этапе, для эффективного управления величиной и характером распределения технологических напряжений по глубине упрочненного слоя, требуется найти взаимосвязь остаточных напряжений с режимами обработки, через параметры термических циклов (скорости нагрева и охлаждения, максимальная температура и времени нахождения материала при температурах фазовых переходов). Для этого нам необходимо провести численное моделирование напряженno-деформированного состояния заготовки, находящейся под влиянием суммарного воздействия: индукционная закалка и абразивное шлифование.

Список литературы / References

1. Анализ напряженно-деформированного состояния материала при высокоэнергетическом нагреве токами высокой частоты / В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 3 (64). – С. 90–102.
2. Иванцivский В.В., Скиба В.Ю., Зуб Н.П. Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ // Научный вестник НГТУ. -2008. -№ 3 (32). - С. 83-94.
3. Скиба В.Ю. Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2007. -№ 2 (35). -С. 25-27.
4. Структура износостойких плазменных покрытий после высокоэнергетического воздействия ТВЧ / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, В.В. Иванцivский, В.Ю. Скиба, Н.В. Плотникова, Д.В. Лобанов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2014. -№ 4 (65). -С. 11-18.
5. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Y. Skeeba, N.V. Martyushev, R.A. Miller, N.S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol.156. - P.012022
6. Skeeba V. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeeba, V. Pushnin, D. Kornev // Applied Mechanics and Materials. - 2015. - Vol. 788. - P. 88-94.
7. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 712. – Р. 105–111.
8. The features of steel surface hardening with high energy heating by high frequency currents and shower cooling / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeeba, I.A. Bataev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev, O.V. Sakha, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol.156. - P.012025.
9. Integration of production steps on a single equipment / V. Skeeba, V. Pushnin, I. Erohin, D. Kornev // Materials and Manufacturing Processes. – 2015. – Vol. 30, iss. 12. - P. 1408–1411.
10. Иванцivский В.В., Скиба В.Ю. Совмещение операций поверхностной закалки и финишного шлифования на одном технологическом оборудовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2006. - № 1 (30). - С. 16-18
11. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцivский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Инновационная деятельность. -2010. -№ 1 (10). -С. 66-69.
12. Новая высокопроизводительная и ресурсосберегающая интегральная обработка / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцivский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // В мире научных открытий. -2010. -№ 2-3. -С. 91-93.
13. Иванцivский В.В., Скиба В.Ю. Эффективность объединения операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 4 (49). –С. 15–21.
14. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Lobanov D.V., Zhigulev A.K. and Skeeba P.Yu. Integrated Processing: Quality Assurance Procedure of the Surface Layer of Machine Parts during the Manufacturing Step "Diamond Smoothing" // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 125. - P. 012031.
15. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Kutyshkin A.V., Parts K.A. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 126. - P. 012016.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Skeeba V.Yu., Pushnin V.N., Erokhin I.A., Kornev D.Yu. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya materiala pri vysokoenergeticheskem nagreve tokami vysokoi chastoty [Analysis of the stress-strain state of the material under high-energy heating by high frequency currents]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2014. № 3 (64). P. 90–102. [in Russian]
2. Ivancivsky V.V., Skeeba V.Yu., Zub N.P. Metodika naznacheniya rezhimov obrabotki, obespechivayushchikh ratsional'noe raspredelenie ostatochnykh napryazhenii pri poverkhnostnoi zakalke VEN TVCh [Method of determining processing modes, ensuring the rational distribution of residual stresses in surface hardening HEH HFC] // Nauchnyi vestnik NGTU [Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University]. -2008. № 3 (32). P. 83-94. [in Russian]
3. Skeeba V.Yu. Obespechenie trebuemogo kharaktera raspredeleniya ostatochnykh napryazhenii pri uprochnenii vysokoenergeticheskim nagrevom tokami vysokoi chastoty [Providing the required character of the residual stress distribution for hardening high-energy high-frequency heating] // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. -2007. № 2 (35). P. 25-27. [in Russian]
4. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Ivancivsky V.V., Skeeba V.Yu., Plotnikova N.V., Lobanov D.V. Struktura iznosostoikikh plazmennykh pokryti posle vysokoenergeticheskogo vozdeistviya TVCh [Structure of wear resistant plasma coatings after high-energy treatment using high-frequency currents]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2014. №. 4 (65). P. 11-18. [in Russian]
5. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Y. Skeeba, N.V. Martyushev, R.A. Miller, N.S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. V. 156. P.012022.
6. Skeeba V. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeeba, V. Pushnin, D. Kornev // Applied Mechanics and Materials. - 2015. V. 788. P. 88-94.

7. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // Key Engineering Materials. – 2016. V. 712. P. 105–111.
8. The features of steel surface hardening with high energy heating by high frequency currents and shower cooling / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeeba, I.A. Bataev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev, O.V. Sakha, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. V. 156. P.012025.
9. Integration of production steps on a single equipment / V. Skeeba, V. Pushnin, I. Erohin, D. Kornev // Materials and Manufacturing Processes. – 2015. V. 30, Iss. 12. P. 1408–1411.
10. Ivancivsky V.V., Skeeba V.Yu. Sovmeshchenie operatsii poverkhnostnoi zakalki i finishnogo shlifovaniya na odnom tekhnologicheskem oborudovanii [Combining the operations of surface hardening and finish grinding on the same processing equipment]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2006. № 1 (30). P. 16–18. [in Russian]
11. Integral'naya obrabotka kak effektivnoe napravlenie resheniya zadachi perekhoda k resursosberegayushchim tekhnologiyam [Integrated processing as an effective direction of the decision problems of transition to alternative technologies] / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.P. Zub, S.V. Turevich // Innovatsionnaya deyatel'nost' [Innovative Activities]. - 2010. № 1 (10). P. 66-69. [in Russian]
12. Novaya vysokoproizvoditel'naya i resursosberegayushchaya integral'naya obrabotka [New high-performance and resource-conscious integrated processing] / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.P. Zub, S.V. Turevich // V mire nauchnykh otkrytii [The World of Scientific Discoveries]. - 2010. № 2-3. P. 91-93. [in Russian]
13. Ivancivsky V.V., Skeeba V.Yu. Effektivnost' ob"edineniya operatsii poverkhnostnoi zakalki i shlifovaniya na odnom tekhnologicheskem oborudovanii [Integration effectiveness of operations of surface hardening and grinding on a single technology equipment] // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2010. № 4 (49). P. 15–21. [in Russian]
14. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Lobanov D.V., Zhigulev A.K. and Skeeba P.Yu. Integrated Processing: Quality Assurance Procedure of the Surface Layer of Machine Parts during the Manufacturing Step "Diamond Smoothing" // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. V. 125. P. 012031.
15. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Kutyshkin A.V., Parts K.A. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. V. 126. P. 012016.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.151

Скиба В.Ю.¹, Иванчикский В.В.², Хлебова И.В.³, Скиба П.Ю.⁴

¹ORCID: 0000-0002-8242-2295, Кандидат технических наук, доцент,

²Доктор технических наук, доцент; ³студент; ⁴студент,

Новосибирский государственный технический университет

ПРОГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация

Приведены основные позиции теории обоснования технических характеристик металлорежущих станков на базе математического моделирования условий их эксплуатации. Представленный подход, основанный на использовании математического аппарата теории вероятности и математической статистики, закладывает возможность использования систем автоматического проектирования на начальной стадии разработки общей концепции нового технологического оборудования. Изложенный подход обладает достаточно широкой универсальностью, так как он позволяет, кроме основной, решать и ряд других задач: исследовать динамику трансформации основных ТХ оборудования при совершенствовании процессов механической обработки; определять эквивалентные нагрузки при расчете элементов приводов на усталостную прочность; оценивать теплостойкость конструкций; оптимизировать параметрические ряды технологических машин.

Ключевые слова: металлообрабатывающий станок, технические характеристики, прогнозирование, логнормальное распределение.

Skeeba V.Yu.¹, Ivancivsky V.V.², Khlebova I.V.³, Skeeba P.Yu.⁴

¹ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor,

²PhD in Engineering, Associate professor; ³student; ⁴student,

Novosibirsk State Technical University

PROGNOSTICS SPECIFICATIONS OF METALWORKING EQUIPMENT

Abstract

The problems of theoretical grounds of machine tools specifications based on mathematic operational simulation are discussed in the paper. The proposed approach is based on the probability theory and mathematical statistics apparatus. It is universal and makes it possible to use automated design engineering systems at an initial development phase of the general concept of new equipment. The presented approach is highly flexible since it allows solving not only the main problems but performing a number of other tasks, e.g. to investigate the transformation dynamics of major technical specifications of equipment while improving machining processes; to determine equivalent loads of driving elements for fatigue strength; to evaluate the heat resistance of structures; and to optimize the parametric series of production machines.

Keywords: metal working machine, specifications, forecasting, lognormal distribution.

Процесс создания нового металлорежущего оборудования, как и любой технологической машины, обычно начинается с разработки технического предложения – общей концепции объекта проектирования. И в качестве одного из первоочередных здесь решается вопрос выбора оптимальных значений технических характеристик (ТХ) изделия, отражающих его технологические возможности, металло- и энергоёмкость, приспособленность конструкции к человеку и т.п. Принятый комплекс значений ТХ в конечном счете во многом предопределяет стоимость оборудования и эффективность его в эксплуатации [1 - 9]. Не вызывает сомнений тот факт, что ошибки, допущенные на данном этапе проектирования, в дальнейшем очень трудно поддаются устранению и могут привести к обесцениванию всей проделанной работы.

Применительно к металлорежущему оборудованию специфика проблемы обусловлена следующим. Во-первых, при разработке станочной системы необходимо предвосхищать условия ее эксплуатации в отдаленной перспективе. Период упреждения может составлять порядка десяти и более лет, учитывая суммарную длительность процессов проектирования, изготовления, испытания и функционирования станка, что переводит такой прогноз в область долгосрочного. Во-вторых, между размерными параметрами деталей и инструмента, а также элементами режима резания существует корреляционная связь. Но особую сложность этот вопрос приобретает для универсальных металлорежущих станков, предназначенных для выполнения большого числа самых разнообразных технологических операций на деталях широкой номенклатуры.

На практике при решении этой проблемы используются различные подходы, в том числе, основанные на аналитических методах расчета. Однако применение последних не всегда корректно, поскольку они не учитывают многие нюансы, присущие реальным условиям эксплуатации станков. Другие известные методы проработаны пока фрагментарно, не сформировались в систему и не получили широкого распространения.

Для решения задачи прогнозирования ТХ станков нами предлагается методология, построенная на базе математического моделирования.

Теория и методика исследований

В любой технологической машине, несмотря на то, что ей свойственен достаточно большой перечень ТХ, всегда можно выделить несколько доминирующих характеристик. Основными ТХ, по мнению многих исследователей, в станкостроении являются: предельные значения частоты вращения исполнительного органа (n_{\min} и n_{\max}),名义альный крутящий момент M_H и мощность привода главного движения (электродвигателя) N_D . Оставшиеся технические характеристики являются либо производными от основных технических характеристик, либо не оказывают заметного влияния на главные показатели качества.

В процесс функционирования станочного оборудования параметры технологических операций (диаметр d детали (инструмента), скорость резания V_p , скорость перемещения источника высокой концентрации $V_{ист}$, сила резания P и т.д.) имеют стохастический характер. Тогда, согласно теории вероятностей, они могут быть описаны каким-либо законом распределения. При определении его типа необходимо учитывать то обстоятельство, что такие элементы режима обработки как скорость и сила резания, в свою очередь, являются по существу производными от мультиплективного действия многих независимых и слабо зависимых случайных факторов (глубины резания, подачи, стойкости инструмента и т.д.). Степень влияния каждого фактора различна, но в пределах свойственного для них уровня изменяется незначительно. В связи с этим на основании теоремы Ляпунова можно предположить, что итоговая случайная величина (параметр операции) U будет обладать логарифмически нормальным распределением, дифференциальная функция которого

$$f(\ln U) = \frac{1}{\sigma_{\ln U} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln U - \bar{\ln U})^2}{2\sigma_{\ln U}^2} \right], \quad (1)$$

где $\bar{\ln U}$ и $\sigma_{\ln U}$ – показатели распределения: среднее значение (математическое ожидание) и среднее квадратическое отклонение логарифмов случайной величины соответственно.

Это подтверждается результатами многочисленных статистических исследований размеров обрабатываемых поверхностей деталей и используемого инструмента: кривые их распределений имеют склоненный характер с ярко выраженной положительной асимметрией и хорошо аппроксимируются логнормальной зависимостью. Возможно, что иные виды функций позволят более адекватно отразить закономерности распределений параметров условий обработки. Однако при прогнозировании нет необходимости в излишней детализации свойств объекта, достаточно выявить наиболее важные тенденции его развития, действие которых можно ожидать в перспективе.

Одно из неоспоримых достоинств принятой модели — простота процедуры ее прогноза, так как для построения логарифмически нормального распределения необходимо располагать лишь средним и максимальным значениями случайной величины, которые относительно несложно предсказать на требуемый период учреждения. Более того, использование при численном моделировании только лишь величин математического ожидания $E_{\ln U} \approx \bar{\ln U}$ и дисперсии $\sigma_{\ln U}$, позволяет значительно повысить надежность прогноза, а благодаря устойчивости закона (при формировании нормально распределенных величин обеспечивается и результирующее нормальное распределение их производной величины), становится возможным моделировать распределения эксплуатационных характеристик (ЭХ) станка: частоту вращения n и крутящий момент M на шпинделе, эффективную мощность N (как текущие значения, не выходящие за пределы ТХ) через параметры технологических операций при условии, что они с ней связаны, но легче поддаются прогнозу. Таким образом, на основании теорем о математических ожиданиях и дисперсиях, а также

известного уравнения $n = \frac{V}{\pi d}$ можно записать

$$E_{\ln n} = E_{\ln V} - E_{\ln d} + \ln \pi; \quad (2)$$

$$\sigma_{\ln n} = \sqrt{\sigma_{\ln V}^2 + \sigma_{\ln d}^2 - 2R_{\ln n}\delta_{\ln V}\delta_{\ln d}}, \quad (3)$$

где $2R_{\ln n}$ - коэффициент корреляции между логарифмами V и d .

На основе известных соотношений $M = P \cdot d / 2$ и $N = \frac{\pi \cdot n \cdot M}{30}$ аналогичным образом формируются зависимости, используемые при расчете показателей логарифмически нормальных распределений для данных ЭХ.

На металлорежущем оборудовании различные условия обработки объективно воспроизводятся с неодинаковой степенью повторяемости, иначе говоря, каждое из них осуществляется чаще или реже по сравнению с остальными. Наделение конкретных условий обработки отличительными признаками с целью их идентификации позволяет одновременно очертить границы исследуемой области эксплуатации станка. Ниже это достигается сочетаниями метода обработки (точение, фрезерование, сверление и т.д.) A , материалов детали B и режущего инструмента C . Тогда вероятность реализации каждого из возможных условий обработки может быть получена на основе теоремы умножения вероятностей

$$p_{ijk} = p_i(A)p_j(B)p_k(C/AB), \quad (4)$$

где $p_i(A)$ - вероятность i -го метода обработки; $p_j(B)$ - вероятность обработки детали из j -го материала; $p_k(C/AB)$ - условная вероятность применения k -го материала инструмента при соответствующем методе обработке и материале заготовки. Следует отметить, что суммарная вероятность p_{ijk} всех условий обработки должна быть равной 1, т.е. $\sum_{q=1}^{\omega} p_q = 1$. В предыдущем и последующих математических выражениях сложный индекс ijk заменен на мультииндекс q .

Таким образом, для построения распределений эксплуатационных характеристик станка необходимо иметь достоверную информацию о \bar{U} , U_{max} , R и p_q . В свою очередь, при прогнозировании этих исходных данных целесообразно использовать методы экспертных оценок, математического моделирования или их комбинацию. Первую группу методов применяют, обычно, при отсутствии или малом объеме статистической информации за ретроспективный период, а также при прогнозировании развития технических систем в отдаленном будущем. Вторая группа позволяет прогнозировать протекание эволюционных процессов, хорошо описываемых, например, так называемыми S -образными функциями.

В предложенной математической модели, заложен принцип суперпозиции, в соответствии с которым

$$f(x) = \sum_{q=1}^{\omega} p_q f_q(x), \quad (5)$$

где $f(x)$ – дифференциальная функция итогового распределения исследуемой характеристики x (x - натуральный логарифм n , M или N); $f_q(x)$ - дифференциальная функция элементарного распределения характеристики для конкретного условия обработки q ; ω - количество разных условий обработки.

Результаты и обсуждение

Анализируя выражение (5), приходим к выводу, что конечное распределение формируется путем сложения частных функций с учетом их весовых коэффициентов. После построения картин распределений всех ЭХ можно определить наиболее рациональные значения каждой характеристики. Фактически речь идет о начальном этапе оптимизации. Данная задача представляет собой серьезную и самостоятельную проблему, при решении которой приходится принимать во внимание как минимум два противоречивых обстоятельства. С одной стороны, расширение границ значений характеристик сопровождается повышением производительности станка, а с другой — ростом капитальных и текущих затрат. Принять за критерий — приведенные затраты (как наиболее объективный показатель), на ранней стадии проектирования не представляется возможным. Поэтому приходится прибегать к анализу характера изменения моделируемой зависимости (4), для чего лучше всего подходит ее вторая производная:

$$f''(x) = \sum_{q=1}^{\omega} p_q f''_q(x), \quad (6)$$

в которой

$$f''_q(x) = -\frac{1-t_{xq}^2}{\sigma_{xq}^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t_{xq}^2}{2}} \text{ при } t_{xq} = \frac{x - E_{xq}}{\sigma_{xq}}, \quad (7)$$

где t_{xq} - нормированное отклонение.

Тогда задача оптимизации по существу сводится к установлению крайних экстремумов целевой функции $f''(x) \rightarrow \max$. В частности видно, что основной объем работы находится внутри зоны, ограниченной значениями x_{min} и x_{max} . Иногда при этом используются дополнительно еще и квантили базового распределения.

На заключительном этапе оптимизации необходимо перейти к комплексному анализу полученной системы распределений эксплуатационных характеристик и определению на базе его результатов уже значений технических характеристик. Так, например, приведенное выше известное соотношение, связывающее частоту вращения n и

крутящий момент M на шпинделе с третьей ЭХ — мощностью резания N , трансформируется в общепринятое в машиностроении выражение $N = M \cdot n / 9554$. Эти характеристики априори образуют систему случайных величин, описываемых функцией

$$f(\ln n, \ln M) = \sum_{q=1}^{\omega} p_q f_q(\ln n, \ln M), \quad (8)$$

Геометрически зависимость (7) представляет собой поверхность распределения (рис. 1). Ось $\ln N$, являясь по существу производной, лежит в одной плоскости с основными координатными осями $\ln n$ и $\ln M$. При условии единства масштаба логарифмических шкал она располагается по отношению к ним под углом 45° , однако ее начало — O^* смещено на величину $\ln 9554$ от точки 0. Это распределение чаще всего изображают в виде семейства кривых равной плотности (рис. 2) или (их еще называют) линий равных вероятностей. Для построения такой картины поверхность распределения (рис. 1) рассекают плоскостью H параллельно горизонтальной, а затем полученные сечения проецируют на нее.

Здесь же наносят линии определенных ранее границ варьирования ЭХ. В результате получается область оптимального использования оборудования — F , очерченная многоугольником $ABCDE$. Причем дополнительное ограничение его N_{\min} введено из экономических соображений, так как при малых нагрузках резко снижается коэффициент мощности электродвигателя, а также коэффициент полезного действия механической части привода.

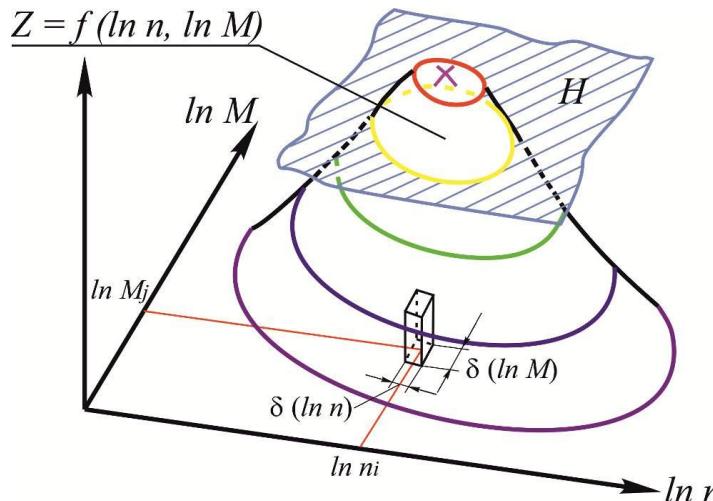


Рис. 1 – Поверхность распределения системы эксплуатационных характеристик

Осуществляя последовательное интегрирование функции $f(\ln n, \ln M)$ внутри области F , можно установить вероятности p_{ij} выполнения работ для любых сочетаний значений n_i, M_j и соответствующих им значений N_{ij} . Вероятность попадания в область ΔF описывается интегралом

$$p_{ij}((\ln n, \ln M) \subset \Delta F) = \iint_{(\Delta F)} f(\ln n, \ln M) d(\ln n) d(\ln M)$$

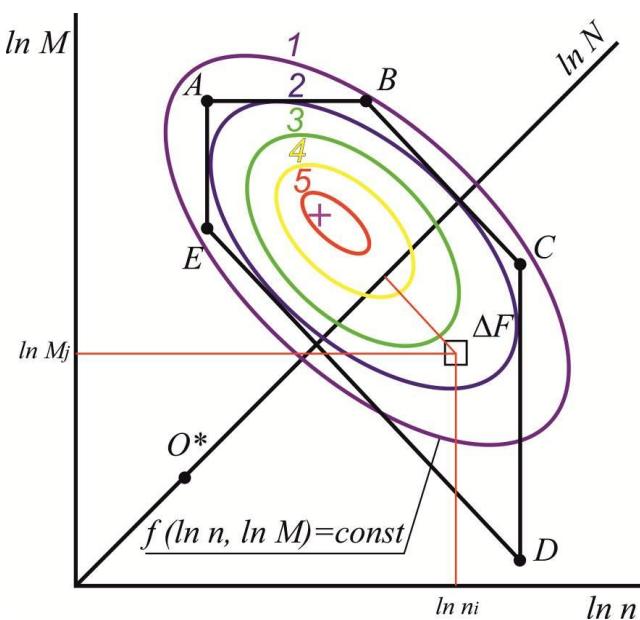


Рис. 2 – Картина распределения системы эксплуатационных характеристик станка

Нахождение объема работ, выполняемых на станке с максимальной производительностью, определяется посредством суммирования этих вероятностей по всей области F . При необходимости осуществляется корректировка положения границ, а, следовательно, и значений ЭХ (изменение положения границ обусловлено также потребностью в увязке значений n с рядом предпочтительных чисел и округлением значений M).

Полученный таким образом окончательный вариант картины распределения эксплуатационных характеристик позволяет одновременно установить оптимальные значения технических характеристик проектируемого станочного оборудования: предельные значения частоты вращения исполнительного органа (n_{\min} и n_{\max}), номинальный крутящий момент M_n и мощность привода главного движения (электродвигателя) N_d .

Выводы

К достоинствам предлагаемой методологии обоснования технических характеристик станков следует отнести минимальный объем первичной информации, возможность замены трудно прогнозируемых параметров на более доступные, малую чувствительность к ошибкам прогноза исходных факторов. Изложенный подход обладает достаточно широкой универсальностью, так как он позволяет, кроме основной, решать и ряд других задач: исследовать динамику трансформации основных ТХ оборудования при совершенствовании процессов механической обработки; определять эквивалентные нагрузки при расчете элементов приводов на усталостную прочность; оценивать теплостойкость конструкций; оптимизировать параметрические ряды технологических машин.

Список литературы / References

1. Иванцivский В.В., Скиба В.Ю. Совмещение операций поверхностной закалки и финишного шлифования на одном технологическом оборудовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2006. - № 1 (30). - С. 16-18
2. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцivский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Инновационная деятельность. -2010. -№ 1 (10). -С. 66-69.
3. Новая высокопроизводительная и ресурсосберегающая интегральная обработка / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцivский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // В мире научных открытий. -2010. -№ 2-3. -С. 91-93.
4. Иванцivский В.В., Скиба В.Ю. Эффективность объединения операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 4 (49). –С. 15–21.
5. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушнин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – №2 (63). – С.91-99.
6. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, В.Н. Пушнин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К. Зайцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2013. -№ 3 (60). -С. 68-73.
7. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2015. - № 4 (69). - С. 51-60.
8. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Lobanov D.V., Zhigulev A.K. and Skeeba P.Yu. Integrated Processing: Quality Assurance Procedure of the Surface Layer of Machine Parts during the Manufacturing Step "Diamond Smoothing" // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 125. - P. 012031.
9. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Kutyshkin A.V., Parts K.A. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 126. - P. 012016.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ivancivsky V.V., Skeeba V.Yu. Sovmeshchenie operatsii poverkhnostnoi zakalki i finishnogo shlifovaniya na odnom tekhnologicheskem oborudovanii [Combining the operations of surface hardening and finish grinding on the same processing equipment]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2006. № 1 (30). P. 16–18. [in Russian]
2. Integral'naya obrabotka kak effektivnoe napravlenie resheniya zadachi perekhoda k resursosberegayushchim tekhnologiyam [Integrated processing as an effective direction of the decision problems of transition to alternative technologies] / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.P. Zub, S.V. Turevich // Innovatsionnaya deyatel'nost' [Innovative Activities]. - 2010. № 1 (10). P. 66-69. [in Russian]
3. Novaya vysokoproizvoditel'naya i resursosberegayushchaya integral'naya obrabotka [New high-performance and resource-conscious integrated processing] / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, N.P. Zub, S.V. Turevich // V mire nauchnykh otkrytii [The World of Scientific Discoveries]. - 2010. № 2-3. P. 91-93. [in Russian]
4. Ivancivsky V.V., Skeeba V.Yu. Effektivnost' ob"edineniya operatsii poverkhnostnoi zakalki i shlifovaniya na odnom tekhnologicheskem oborudovanii [Integration effectiveness of operations of surface hardening and grinding on a single technology equipment] // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2010. № 4 (49). P. 15–21. [in Russian]
5. Modelirovanie nesushchikh sistem tekhnologicheskikh mashin [Modeling of the technological machines support systems] / Yu.I. Podgornyj, V.Yu. Skeeba, A.V. Kirillov, V.N. Pushnin, I.A. Erokhin, D.Yu. Kornev // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2014. №2 (63). P. 91-99. [in Russian]
6. Opredelenie osnovnykh parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya [Determination of the main parameters of the processing equipment] / Yu.I. Podgornyj, T.G. Martynova, V.Yu. Skeeba, V.N. Pushnin, N.V. Vakhrushev, D.Yu. Kornev, E.K. Zaitsev // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2013. № 3 (60). P. 68-73. [in Russian]

7. Vybor konstruktivnykh parametrov nesushchikh sistem mashin s uchetom tekhnologicheskoi nagruzki [Selection of form factors of machine carrying systems in reliance on the process duty] / Yu.I. Podgornij, V.Yu. Skeeba, A.V. Kirillov, O.V. Maksimchuk, D.V. Lobanov, V.R. Gleim, A.K. Zhigulev, O.V. Sakha // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2015. № 4 (69). P. 51-60. [in Russian]

8. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Lobanov D.V., Zhigulev A.K. and Skeeba P.Yu. Integrated Processing: Quality Assurance Procedure of the Surface Layer of Machine Parts during the Manufacturing Step "Diamond Smoothing" // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2015. V. 125. P. 012031. [in English]

9. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Kutyshkin A.V., Parts K.A. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. V. 126. P. 012016. [in English]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.031

Соколов П.Э.¹, Чернышов П.Д.²

¹ORCID: 0000-0002-3960-5010, кандидат технических наук, ²ORCID: 0000-0002-7020-5744, магистрант,

Волгоградский государственный технический университет,

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЖИГА КАРБОНАТНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА ЭФФЕКТИВНУЮ УДЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Аннотация

Приведены результаты исследований влияния тепловой обработки (обжига) карбонатных горных пород на эффективную удельную активность естественных радионуклидов. Анализ и обработка полученных результатов позволили получить математическую зависимость между этими величинами для конкретного материала. Установлено, что с увеличением температуры тепловой обработки карбонатных горных пород эффективная удельная активность естественных радионуклидов уменьшается. Результаты исследования показали, что существует возможность, используя технологические режимы производства снизить эффективную удельную активность естественных радионуклидов и как следствие уменьшить дозы облучения населения от этих материалов.

Ключевые слова: эффективная удельная активность естественных радионуклидов, карбонатные горные породы, тепловая обработка.

Sokolov P.E.¹, Tchernyshov P.D.²

¹ORCID: 0000-0002-3960-5010, PhD in Engineering, ²ORCID: 0000-0002-7020-5744, Undergraduate student,
Volgograd state technical university,

RESEARSH OF THE IMPACT OF CARBONATE ROCKS STOVING ON THE EFFECTIVE SPECIFIC ACTIVITY OF NATURAL RADIONUCLIDES

Abstract

Results of examinations of agency of a thermal treatment (stoving) of carbonate rocks on an effective specific activity of natural radionuclides are given. The analysis and processing of the gained results have allowed to obtain a mathematical dependence between these quantities for a concrete material. It is efixed, that with magnification of temperature of a thermal treatment of carbonate rocks the effective specific activity of natural radionuclides decreases. Results of examination have shown, that there is an opportunity, by using technological regimes of manufacture to lower an effective specific activity of natural radionuclides and as consequence to reduce exposure doses of the population from these materials.

Keywords: an effective specific activity of natural radionuclides, carbonate rocks, a thermal treatment.

В результате Чернобыльской аварии велись споры о пороге действия радиации. Однако сегодня подавляющее большинство ученых пришло к выводу об отсутствии такого порога: любые, сколь угодно малые, дополнительные дозы радиации могут оказывать повреждающее действие на живой организм [1]. Недавняя авария на АЭС Фукусима-1 вновь напомнила всему человечеству о «радиоактивности» [2].

До недавнего времени облучение от естественных источников ионизирующего излучения рассматривалось как несущественное и неизменное явление радиационного фона. В настоящее время признано, что поглощенная доза населения в жилых и общественных зданиях может быть весьма высокой и ее можно уменьшить, а также избежать значительных доз при строительстве новых зданий [3].

Существенный вклад (до 50%) в коллективную дозу облучения населения вносят природные источники ионизирующего излучения, «переносимые» в жилые дома и производственные помещения строительными материалами [4].

Активность радионуклидов в строительных материалах зависит от концентрации естественных радионуклидов в горных породах, из которых они изготовлены.

В литературных источниках имеется значительное количество данных о величинах $A_{\text{эфф}}$, как для горных пород используемых для производства строительных материалов, так и для готовых материалов.

В то же время малоизученным остается вопрос изменения $A_{\text{эфф}}$ в процессе переработки сырьевых материалов в строительные, в частности в процессе обжига. Поэтому изучение влияния обжига на эффективную удельную активность естественных радионуклидов и поиск путей и возможностей ее снижения при производстве строительных материалов представляет определенный интерес. С целью поиска и выявления этой зависимости были проведены исследования по оценке влияния тепловой обработки на $A_{\text{эфф}}$.

В качестве материалов для исследований были взяты карбонатные породы. Они достаточно широко применяются при производстве строительных материалов (известняк, портландцемент) и изделий на их основе (силикатный кирпич и блоки, бетоны и т.д.), поэтому являются источником, который создает определенную дозу облучения населения. Широкое распространение этих материалов требует в современных условиях соблюдения всех норм и требований безопасности. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов является одной из нормируемых величин [5, 6]. Поэтому нами проведены исследования по оценке влияния тепловой обработки (обжига) карбонатных горных пород на эффективную удельную активность естественных радионуклидов.

В заводских условиях для получения извести температура обжига известняка обычно составляет 1000-1200°C и устанавливается в зависимости от плотности известняка, наличия примесей, типа печи и ряда других факторов. Обжиг портландцементного клинкера ведется при температурах порядка 1450-1500°C и также зависит от целого ряда факторов.

Определение удельных активностей естественных радионуклидов производилось на сцинтилляционном гамма-спектрометре с детектором на основе кристалла NaI(Tl) Ø63×63 мм. Время измерения стандартное и составляло 30 минут [7]. Термовая обработка проб осуществлялась в муфельной печи в интервале температур от 20 до 1500 °C.

В качестве исследуемых материалов были выбраны три вида карбонатного сырья используемого для производства извести и портландцемента: мел Себряковского месторождения и известняки Фроловского и Арчединского месторождений. Для этих материалов были отобраны по три представительские пробы массой 1 кг [8]. Для этих проб были определены удельные активности естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th . По полученным удельным активностям был произведен расчет $A_{\text{эфф}}$ до тепловой обработки в нормальных условиях по формуле [5]:

$$0,09A_K + A_{Ra} + 1,3A_{Th} = A_{\text{эфф}}, \quad (1)$$

где A_K – удельная активность ^{40}K , Бк/кг; A_{Ra} – удельная активность ^{226}Ra , Бк/кг; A_{Th} – удельная активность ^{232}Th , Бк/кг.

Далее отобранные пробы подвергались тепловой обработке в интервале от 20°C до 1500°C, с шагом 150°C. После каждого этапа у проб определялась масса и удельная активность естественных радионуклидов. По полученным удельным активностям рассчитывалась $A_{\text{эфф}}$. Результаты расчетов $A_{\text{эфф}}$ естественных радионуклидов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Эффективные удельные активности естественных радионуклидов (Бк/кг) при различных температурах обжига (°C)

А _{эфф} (Бк/кг) при различных температурах обжига (°C)										
20	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500
мел Себряковского месторождения										
29,2	29,4	59,6	46,2	62,3	62,8	54,0	38,3	29,0	16,4	8,2
известняк Фроловского месторождения										
58,2	61,3	102,4	106,6	99,1	92,2	95,1	62,6	48,6	40,2	32,4
известняк Арчединского месторождения										
51,0	53,3	91,7	91,5	89,9	84,9	84,8	56,5	43,7	34,2	26,3

По данным, приведенным в табл. 1 и результатам изменения массы пробы в процессе исследований построены графики, приведенные на рис. 1 и 2.

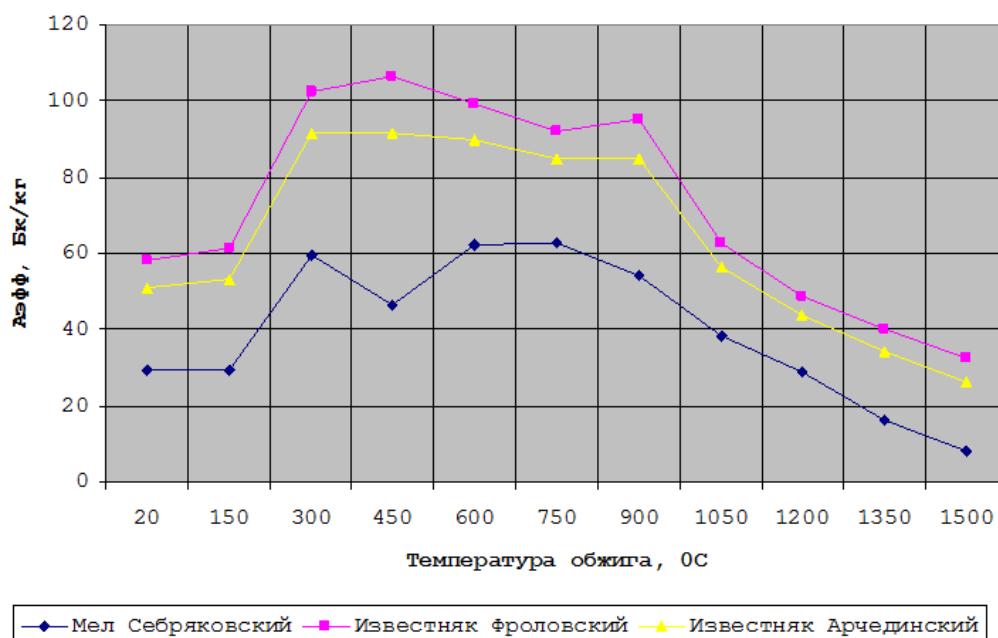


Рис. 1 – Изменение эффективной удельной активности естественных радионуклидов в процессе тепловой обработки

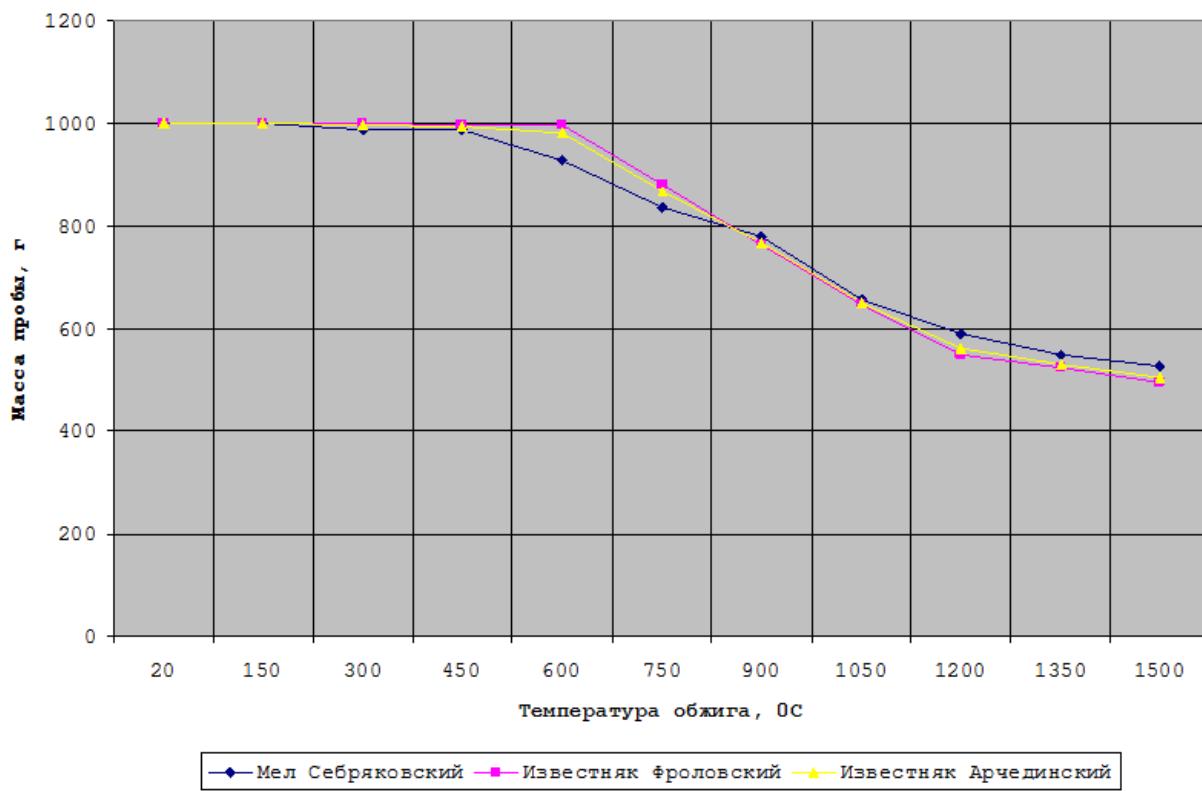


Рис. 2 – Изменение массы исследуемых материалов в процессе их тепловой обработки

Анализируя график, приведенный на рис. 1, построенный по данным табл. 1 можно выделить два участка: первый – в интервале температур от 20 до 450°C на котором происходит рост величины $A_{\text{эфф}}$; второй – интервал от 450 до 1500°C – на данном участке происходит уменьшение $A_{\text{эфф}}$. На графике (см. рис. 2) приведены значения изменения массы проб исследуемых материалов при различных температурах. Из графика видно, что уменьшение масс проб начинается при достижении температур обжига 450-600°C. Что хорошо согласуется с практическими значениями.

Рост значений $A_{\text{эфф}}$ на первом интервале можно объяснить следующим образом: происходит удаление физической воды, выгорание органических примесей и частичная деструкция материала, что в целом способствует лучшей регистрации удельных активностей естественных радионуклидов, за счет снижения плотности исследуемого материала. Помимо этого данный интервал не представляет особого интереса, поскольку в нем не происходит химических реакций приводящих к получению готового продукта.

Второй интервал является наиболее значимым, т.к. при достижении температур порядка 500-600°C начинаются реакции декарбонизации, которые с ростом температур приводят к образованию CaO и получению извести. Поэтому для дальнейшей обработки полученных результатов мы будем использовать значения $A_{\text{эфф}}$ для интервала 450-1500°C. Для этого интервала построен график зависимости эффективной удельной активности естественных радионуклидов от температуры обжига, на примере известняка Фроловского месторождения (см. рис. 3).

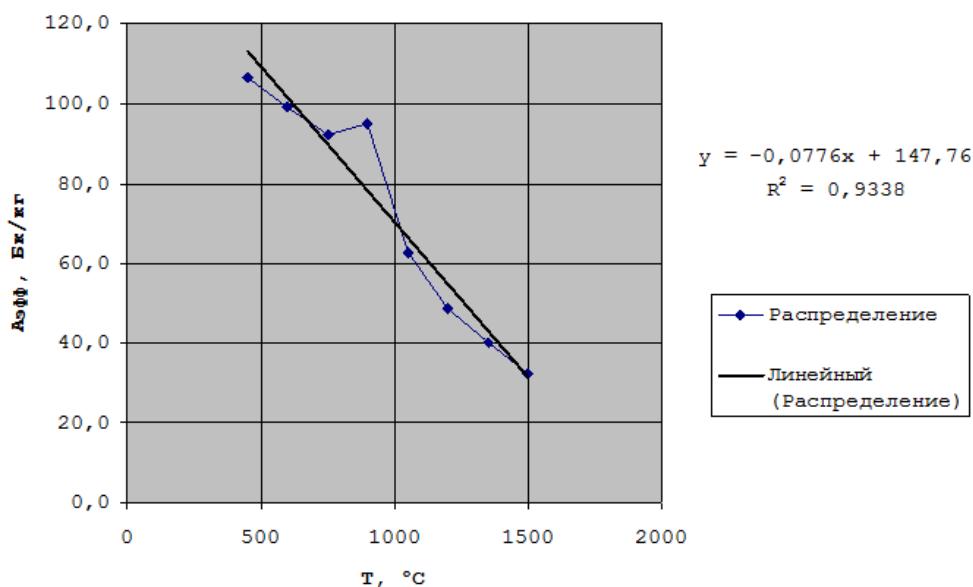


Рис. 3 – Корреляционное поле эффективной удельной активности естественных радионуклидов от температуры обжига известняка Фроловского месторождения

Анализируя график (см. рис. 3) можно сделать вывод о том, что с увеличением температуры обжига карбонатных пород эффективная удельная активность уменьшается. При этом закономерность, по которой это происходит, имеет вид:

$$y = ax + b \quad (2)$$

По имеющимся данным зависимости $A_{\text{эфф}}$ от температуры нагрева в интервале 450-1500°C определим коэффициент корреляции. Для исследуемых материалов он составляет: -0,87 – мел Себряковского месторождения; -0,96 – известняк Фроловского месторождения; -0,96 – известняк Арчединского месторождения. Полученные значения указывают на то, что связь между переменными очень сильная и имеет место линейная обратно пропорциональная зависимость. Следовательно, с увеличением температуры $A_{\text{эфф}}$ снижается. Оценим значимость коэффициента корреляции, для чего рассмотрим две гипотезы. Основную H_0 : $r_{xy}=0$ и альтернативную H_1 : $r_{xy} \neq 0$. Для проверки гипотезы H_0 рассчитаем t-статистику Стьюдента, она составит $t_{\text{расч}}=-9,2$. Сравним полученное значение с критическим значением $t_{v,\alpha}$ распределением Стьюдента (при $v=6$ и доверительной вероятности $\alpha=0,05$, $t_{v,\alpha}=2,44$). Можно сделать вывод – между переменными существует зависимость и найденный коэффициент корреляции значим. Определим количественные связи между зависимыми величинами. Для установления степени зависимости между откликом и факторами используем величины ковариации и коэффициент корреляции.

Для нахождения модели регрессии (т.е. коэффициентов a и b) используем графический способ – построение линии тренда на диаграмме в среде MS Excel. Коэффициенты a и b для Фроловского известняка будут равны соответственно -0,077 и 147,76 соответственно, а уравнение регрессии будет иметь вид:

$$y = -0,077x + 147,76. \quad (3)$$

На диаграмме помещена величина достоверности аппроксимации, которая равна $R^2=0,93$. Значение R^2 близко к 1, что говорит о том, что линия тренда близка к фактическим данным и, следовательно, соответствует действительности.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что с увеличением температуры обжига сырья $A_{\text{эфф}}$ уменьшается, что в конечном итоге приводит к уменьшению дозы облучения населения. Однако, при этом обязательно необходимо учитывать, что температуру нагрева нельзя повышать бесконтрольно и безгранично. Поэтому с точки зрения получения качественной готовой продукции с минимальными показателями $A_{\text{эфф}}$ необходимо получать материалы при возможно более высоких температурах, но, не выходя за границы получения качественной продукции. Т.к. превышение этих границ ведет к образованию производственного брака.

Список литературы / References

1. Сидельникова О.П. Радиационная безопасность в зданиях : справочник / О.П. Сидельникова, И.В. Стефаненко, П.Э. Соколов / под общ. ред. О.П. Сидельниковой. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 328 с.
2. Ishii K. Measures against radioactive contamination due to Fukushima first nuclear power plant accidents part III: Removing and decontamination of contaminated soil / K. Ishii, A. Terakawa, S. Matsuyama and others // International Journal of PIXE. January 2012, Vol. 22, No. 01n02: pp. 13-19. doi: 10.1142/S0129083512400323.
3. Крисюк Э.М. Уровни и последствия облучения населения / Э.М. Крисюк //АНРИ. – 2002. – №1 (28). – с. 4–13.
4. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. / Э.М. Крисюк. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
5. СанПиН 2.6.1.2523 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : [утв. гл. гос. санитар. врачом Рос. Федерации 07.07.2009 : введ. 01.09.2009]. – М.: Минздрав России, 2009. – 93 с.
6. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – Введ. 1995-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 11 с.
7. Измерение активности гамма-излучающих радионуклидов на сцинтилляционном спектрометре с использованием пакетов программ SM и EXPRESS: Методические рекомендации / ВНИИФТРИ. М., 1993. – 31 с.
8. Антропов С.А. Прикладная гамма-спектрометрия /С.А. Антропов//АНРИ. – 1994. – №3 (3). – С. 41–46.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sidelnikova O.P. Radiacionnaya bezopasnost v zdaniyah : Spravochnik [Radiating safety in buildings: the directory] / O.P. Sidelnikova, I.V. Stefanenko, P.E. Sokolov; edited by O.P. Sidelnikova. –M.: Energoatomizdat, 2006. – 328 p. [in Russian]
2. Ishii K. Measures against radioactive contamination due to Fukushima first nuclear power plant accidents part III: Removing and decontamination of contaminated soil / K. Ishii, A. Terakawa, S. Matsuyama and others // International Journal of PIXE. January 2012, Vol. 22, No. 01n02: pp. 13-19. doi: 10.1142/S0129083512400323.
3. Krisjuk Je.M. Urovni i posledstvija obuchenija naselenija [Levels and effects of radiation exposure of the population] / Je.M. Krisjuk //ANRI. – 2002. – №1 (28). – p. 4–13. [in Russian]
4. Krisjuk Je.M. Radiacionnyj fon pomeshchenij [Background radiation areas]. / Je.M. Krisjuk. – M.: Energoatomizdat, 1989. – 120 p. [in Russian]
5. SanPiN 2.6.1.2523 Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) [Norms of radiating safety] : [Approved by the main state doctor of the Russian Federation 07.07.2009]. – Vved. 01.09.2009. – M.:Minzdrav Rossii, 2009. 93 p. [in Russian]
6. GOST 30108-94. Materialy i izdelyiya stroitelnye. Opredelenie udelnoj effektivnoj aktivnosti estestvennyh radionuklidov [Materials and products building. Definition of specific effective activity natural radionuclides]. – Vved. 1995-01-01. M.: – Standartinform, 2007. – 11 p. [in Russian]
7. Izmerenie aktivnosti gamma-izluchajushhih radionuklidov na scintil-ljacionnom spektrometre s ispol'zovaniem paketov programm SM i EXPRESS: Metodicheskie rekomendacii [Measurement of activity of gamma-emitting radionuclides in scintil-translational spectrometer using software packages such as SM and EXPRESS: guidelines] / VNIIFFTRI. M., 1993. – 31 p. [in Russian]
8. Antropov S.A. Prikladnaja gamma-spektrometrija [Applied gamma-ray spectrometry] / S.A. Antropov //ANRI. – 1994. – №3 (3). – p. 41–46. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.159

Соломенцев А.Б.¹, Мосюра Л.С.², Анахин Н.Ю.³, Грошев Н.Г.⁴¹Доцент, кандидат технических наук, ²аспирант, ^{3,4}Студент,

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО С АДГЕЗИОННЫМИ ДОБАВКАМИ

Аннотация

Определены физико-механические свойства асфальтовяжущего с адгезионными добавками Амдор-10, Дорос-АП, Honeywell Titan 7686 при расходе битума 11,0%-13,0% от массы минерального порошка и расходе добавок Амдор-10 – 1,0%, Дорос-АП и Honeywell Titan 7686 – 1,5% от массы битума. Установлено, что при оптимальном расходе битума улучшаются физико-механические свойства асфальтовяжущего, однородность микроструктуры асфальтобетона, уменьшается водонепроницаемость зоны контакта битумной пленки с минеральным порошком.

Ключевые слова: дорожный битум, асфальтовяжущее, адгезионные добавки, микроструктура асфальтобетона.

Solomentsev A.B.¹, Mosyura L.S.², Anahin N.Yu.³, Groshev N.G.⁴¹Associate Professor, PhD in Engineering, ²Postgraduate student, ^{3,4}Student, Orel State University

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT BINDER WITH ADHESIVE ADDITIVES

Abstract

The paper contains the study of physical and mechanical properties of asphalt binders with adhesive additives, such as Amdor-10, Doros-AP, Honeywell Titan 7686 with the bitumen rate of 11.0% - 13.0% from the weight of mineral powder and the rate of additives Amdor-10-1.0%, Doros-AP and Honeywell Titan 7686 - 1.5% of bitumen weight. It is found that the optimal rate of bitumen improves the physical and mechanical properties of asphalt binder, uniformity of asphalt concrete microstructure, reduces water resistance of the contact zone of the bitumen film with mineral powder.

Keywords: bitumen road, asphalt binders, adhesion additives, the microstructure of asphalt concrete.

Исходя из особенностей компонентов в асфальтобетоне выделены три типа структур (подсистем): микроструктура асфальтобетона как структура асфальтовяжущего вещества, мезоструктура как двухкомпонентная подсистема (песок – асфальтовяжущее вещество), макроструктура как двухкомпонентная подсистема (щебень – асфальтовый раствор)[1].

При объединении битума с минеральным порошком формируется микроструктура асфальтобетона, отражающая количественное соотношение, расположение и взаимодействие вяжущего и наиболее дисперсной и активной составляющей асфальтобетона – минерального порошка. Поверхность минерального порошка составляет большую часть общей поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси. Таким образом, на частицы минерального порошка приходится большая часть поверхностных взаимодействий с битумом. По изменению показателей физико-механических свойств асфальтовяжущего при введении адгезионных добавок в битум можно оценить влияние этих добавок на микроструктуру асфальтобетона [2].

В данной статье приводятся результаты исследований влияния адгезионных добавок Амдор-10, Дорос-АП, Honeywell Titan 7686 на физико-механические свойства асфальтовяжущего.

Для приготовления асфальтовяжущего использовался неактивированный доломитовый минеральный порошок ОАО «Доломит» и битум нефтяной дорожный вязкий БНД 60/90 Московского НПЗ. Свойства адгезионных добавок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства адгезионных добавок

№ n / n	Наиме- новние добавок	Свойства добавок							
		Внеш-ний вид и цвет при 20°C	Темпе- ратура плавле- ния, °C	Раство- римость	Плот- ность при 20°C, кг/м ³	Щелоч- ное число, мг КОН/г	Кислот- ное число, мг КОН/г	Темпе- ратура вспы- шки, °C не ниже	Температу- ра воспла- менения, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Амдор- 10	вязкая жид- кость светло- желтого цвета	мень- ше минус 3	маслораст воримая	950	400-600	не более 15	145	255
3	Дорос- АП	вязкая жид- кость от желтого до темно-корич- невого цвета	10	маслораст воримая	-	-	не более 20	166	187
4	Honeywe ll Titan 7686	порошок средней крупности белого цвета	-	-	900	-	от 5 до 50	-	-

Результаты оценки сцепления битума с добавками с поверхностью материала кислой породы приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Сцепление дорожного битума с гранитным минеральным материалом

№ n/n	Наименование добавки	Показатель сцепления по ГОСТ 11508-74, выдерживает по образцу №, при расходе добавок в % от массы битума					
		0,3	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Амдор-10	3	3	2→1	1	2→1	2
3	Дорос-АП	2	2	3→2	3→2	1	2
4	Honeywell Titan 7686	2	2	2→1	2→1	2→1	2→1

В соответствии с классификацией, приведенной в [3], Амдор-10 и Honeywell Titan 7686 относятся к группе высокоэффективных, а Дорос-АП к группе среднеэффективных. Исходя из данных приведенных в таблице 2, расход добавок в битуме был принят следующим: Амдор-10 – 1,0%, Дорос-АП – 1,5%, Honeywell Titan 7686 – 1,5%.

Асфальтовяжущее приготавливали в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Битум нагревался до 150-160°C, в него вводились адгезионные добавки в заданном количестве. Смешивание битума с добавками производилось в лабораторном смесителе для приготовления полимер-битумных вяжущих в течение 3 минут. Минеральный порошок нагревался до температуры 160-170°C и засыпался в смеситель, затем вводился битум с добавками и проводилось смешивание в течение 3 минут для равномерного распределения вяжущего в минеральном порошке. Образцы асфальтовяжущего изготавливались с использованием форм для асфальтобетона d=50,5 мм. Нагрузка на образец составляла 8 тонн, время воздействия нагрузки — 3 минуты. Температура асфальтовяжущего при формировании принималась равной 140°C, так как при температуре формования 140-160°C физико-механические свойства асфальтовяжущего не изменялись. Расход битума в асфальтовяжущем изменяли от 11,0% до 13,0% от массы минеральных материалов для определения оптимального количества битума в асфальтовяжущем. Физико-механические свойства образцов асфальтовяжущего определялись в соответствии с ГОСТ 12801-84 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний.»

В таблице 3 и на рисунке 1 приведены показатели физико-механический свойств асфальтовяжущего с адгезионными добавками при различном расходе битума от массы минерального порошка. Как видно, оптимальное количество битума в асфальтовяжущем составило 12,0%-12,5% от массы минерального материала, при этом достигаются максимальные значения средней плотность и прочности.

Таблица 3 - Показатели физико-механический свойств асфальтовяжущего с адгезионными добавками

№ n/n	Название и расход добавки, % от массы битума	Расход битума в, % от массы минерального порошка	Показатели физико-механический свойств асфальтовяжущего					
			Средняя плот- ность ρ, г/см³	Водонасы- щенные, W,% по объему	Предел прочности при сжатии МПа, при температуре	20°C	20°C водо- насы- щенных образцов	50°C
1	Без добавки	11,0	2,26	4,11	8,29	7,76	2,87	0,94
		11,5	2,29	1,6	8,13	7,89	2,67	0,97
2		12,0	2,31	0,58	7,67	7,41	2,68	0,97
3		12,5	2,3	0,3	6,55	6,36	1,81	0,97
4		13,0	2,3	0,14	7,44	7,23	2,34	0,97
4	Амдор-10, 1,0%	11,0	2,27	2,25	9,51	9,17	3,11	0,96
5		11,5	2,3	0,55	9,03	8,91	2,69	0,99
6		12,0	2,31	0,38	9,8	9,7	3,15	0,99
6		12,5	2,29	0,31	7,88	7,92	1,95	1,01
7		13,0	2,28	0,09	6,04	6,37	1,9	1,05
7	Дорос-АП, 1,5%	11,0	2,25	4,42	7,78	7,77	2,16	1,00
8		11,5	2,28	1,5	8,98	9,64	3,16	1,07
9		12,0	2,31	0,52	9,58	9,81	3,06	1,02
9		12,5	2,31	0,35	7,78	8,56	2,5	1,10
10		13,0	2,29	0,1	6,75	8,02	1,54	1,19
10	Honeywell Titan 7686, 1,5%	11,0	2,28	2,44	9,17	9,05	2,95	0,99
11		11,5	2,3	0,72	8,63	8,58	2,86	0,99
11		12,0	2,31	0,52	9,42	9,44	2,77	1,00
12		12,5	2,31	0,17	7,76	7,97	2,85	1,03
12		13,0	2,3	0,06	7,78	8,05	1,98	1,03

Более детально характер изменений физико-механических свойств можно проследить на рисунке 1, где на графиках показано изменение значений физико-механических свойств при увеличении расхода битума с добавками в асфальтовяжущем.

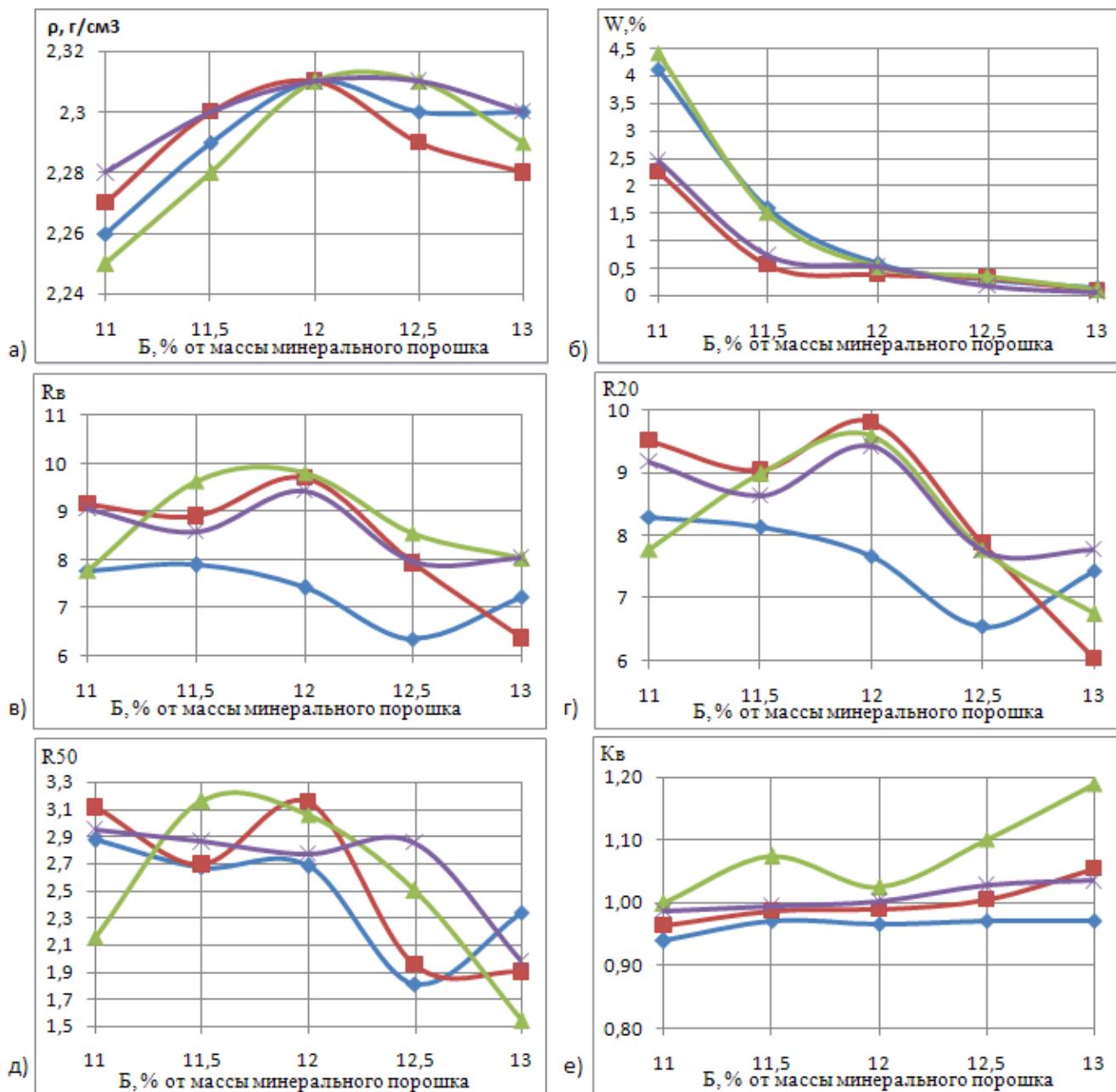


Рис. 1 - Зависимость физико-механических свойств асфальтовяжущего с адгезионными добавками от расхода битума: а – средняя плотность, б – водонасыщение, в – прочность при 20°C, г – прочность в водонасыщенном состоянии, д – прочность при 50°C, е – водостойкость

— Битум без добавки — Битум + Амдор-10 1,0% — Битум + Дорос-АП 1,5% — Битум + Honeywell Titan 7686 1,5%

Как видно из таблицы 3 и рисунка 1 средняя плотность при оптимальном количестве битума 12% с адгезионными добавками осталась такой же, как и у битума без добавок. Водонасыщение уменьшилось во всех образцах у Амдор-10 с 0,58% до 0,38% на 52%, с Дорос-АП и с Honeywell Titan 7686 от 0,58% до 0,52% на 11,5%. Введение адгезионных добавок увеличивает прочность на сжатие при 20°C у Амдор-10 с 7,67МПа до 9,80 МПа на 26,2%, у Дорос-АП с 7,67МПа до 9,58МПа на 24,9%, у Honeywell Titan 7686 с 7,67МПа до 9,42МПа на 22,8% по сравнению с битумом без добавок. Прочность в водонасыщенном состоянии увеличивается с Амдор-10 от 7,41МПа до 9,70МПа на 23,6%, с Дорос-АП от 7,41МПа до 9,81МПа на 24,5%, с Honeywell Titan 7686 от 7,41МПа до 9,44МПа на 21,5%. Прочность на сжатие при 50°C увеличивается у Амдор-10 с 2,68МПа до 3,15МПа на 17,5%, у Дорос-АП с 2,68МПа до 3,06МПа на 14,2%, у Honeywell Titan 7686 с 2,68МПа до 2,77МПа на 3,4%. Коэффициент водостойкости увеличивается при добавлении всех добавок: с применением добавки Амдор-10 с 0,97 до 0,99 на 2,1%, Дорос-АП с 0,97 до 1,02 на 5,1%, Honeywell Titan 7686 с 0,97 до 1,00 на 3,1%.

Введение адгезионных добавок в битум улучшает физико-механические свойства асфальтовяжущего при оптимальном количестве битума. Введение адгезионных добавок изменяет также физико-механические свойства асфальтовяжущего и при неоптимальном расходе битума: при 11,0% увеличивается средняя плотность при введении добавок Амдор-10 и Honeywell Titan 7686 и незначительно уменьшается в асфальтовяжущем с Дорос-АП,

уменьшается водонасыщение при введении добавок Амдор-10, Honeywell Titan 7686 и Дорос-АП, увеличивается водостойкость, повышается прочность на сжатие при 20°C, за исключением асфальтовяжущего с Дорос-АП с расходом битума 11,0% от массы минерального порошка (в этом случае, прочность при 20°C в сухом состоянии образцов асфальтовяжущего уменьшается). При расходе битума в асфальтовяжущем 11, 0% прочность при 50°C увеличивается при введении добавок Амдор-10 и Honeywell Titan 7686 и уменьшается при введении Дорос-АП.

Таким образом, можно сделать вывод, что с введением адгезионных добавок Амдор-10, Дорос-АП, Honeywell Titan 7686 в асфальтобетон будет улучшаться однородность и прочность микроструктурных связей, уменьшаться водопроницаемость зоны контакта битумной пленки с поверхностью минеральным порошком.

Список литературы / References

1. Дорожный теплый асфальтобетон/Королев И.В., Агеева Е.Н., Головко В.А., Фоменко Г.Р. – Киев: Вища школа, 1984. – 200 с.
2. Соломенцев А.Б., Свойства асфальтобетона с азотсодержащими адгезионными ПАВ [Текст] /А.Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли, 2001. - №2. – С.6-7.
3. Соломенцев А.Б. Адгезионные добавки для дорожных битумов и асфальтобетонов и оценка их эффективности [Текст]/А.Б. Соломенцев// Строительство и реконструкция, 2013.-№1. - С. 81-85.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dorozhnyj tepluj asfal'tobeton [Warm asphalt road] /Korolev I.V., Ageeva E.N., Golovko V.A., Fomenko G.R. – Kiev: Vishha shkola, 1984. – 200 p. [in Russian]
2. Solomencev A.B., Svojstva asfal'tobetona s azotsoderzhashchimi adgezionnye PAV [Properties of asphalt adhesive with nitrogen-containing surfactants] [Text] /A.B. Solomentsev // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrassli [Science and Technology in the road sector], 2001. - №2. - P.6-7. [in Russian]
3. Solomentsev A.B., Adgezionnye dobavki dlja dorozhnyh bitumov i asfal'tobetonov i ocenka ih jekfektivnosti [Adhesive additives for road bitumen and asphalt, and assess their effectiveness] [Text] /A.B. Solomentsev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija [Construction and reconstruction], 2013.-№1. - P. 81-85. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.110

Соломенцев А.Б.¹, Ревякин С.Л.², Баранов И.А.³, Бобков А.С.⁴, Савкин Г.А.⁵

¹Доцент, кандидат технических наук,

²Аспирант, ³Старший преподаватель, кандидат технических наук, ^{4,5}Студент,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПО БИТУМОЕМКОСТИ В АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕМ

Аннотация

Произведена оценка эффективности полимерных стабилизирующих добавок Viatop 66, КМА КОЛТЕК, УНИРЕМ-002, РТЭП для щебеноочно-мастичного асфальтобетона по битумоемкости в асфальтовяжущем с использованием коэффициента битумоудерживающей способности. Оценена эффективность стабилизирующих добавок по стандартному методу путем определения показателя стекания щебеноочно-мастичной асфальтобетонной смеси ШМАС-15. Установлена сходимость результатов оценки эффективности предложенным и стандартным методами: наиболее эффективной является добавка Viatop 66, эффективной КМА КОЛТЕК, добавки РТЭП и УНИРЕМ-002 стабилизирующими добавками не являются. Рассмотрены механизмы структурообразования в асфальтовяжущем и ШМАС с добавками.

Ключевые слова: щебеноочно-мастичная асфальтобетонная смесь, стабилизирующая добавка, битумоудерживающая способность добавки, показатель стекания, коэффициент битумоудерживающей способности.

Solomentsev A.B.¹, Revyakin S.L.², Baranov I.A.³, Bobkov A.S.⁴, Savkin G.A.⁵

¹Associate Professor, PhD in Engineering, ²Postgraduate student,

³Senior lecturer, PhD in Engineering, ⁴student, ⁵student,

Orel State University

EVALUATION OF POLYMER STABILIZING ADDITIVES FOR STONE MASTIC BITUMEN-CONCRETE MIXES ON BITUMEN CONTENT IN ASPHALT BINDER

Abstract

The performance of polymer stabilizer additives Viatop 66, CMA Koltek, UNIREM-002, RTEP is estimated for stone mastic asphalt on bitumen content in asphalt binder using bitumen holding capacity index. The effectiveness of stabilizing additives is estimated according to standard method by defining the runoff coefficient of stone mastic asphalt mix – SCHMAS-15. The reproducibility of the evaluation results and the effectiveness of the proposed standard methods are defined in the study: the most effective additive is Viatop 66, KMA Koltek is quite effective too, RTEP and UNIREM 002 additives are not effective. The mechanisms of structure formation in asphalt binder and SCHMAS with additives are described in the paper.

Keywords: Stone mastic bitumen concrete mix, stabilizing additive, bitumen content capacity of additive, runoff coefficient, bitumen holding capacity.

Особенностью щебеноочно-мастичного асфальтобетона (ШМА) является большое содержание щебня (от 60 до 80 %), что существенно увеличивает объем пустот между зернами щебеночного каркаса. Этот объем пустот заполняется песком из отсевов дробления и минеральным порошком, а полученная пористость минеральной части является нормируемой величиной. Песок из отсевов дробления, минеральный порошок и вяжущее образуют

мастичную часть щебеноочно-мастичного асфальтобетона, требования к остаточной пористости которого также нормируются. При увеличении соотношения крупная фракция щебня/мелкая фракция щебня увеличиваются показатели сдвигостойчивости ЩМА, но увеличивается также пористость (пустотность) минеральной части, которую нужно заполнить вяжущим, чтобы не увеличивать жесткость мастичной части ЩМА. В этом случае на первый план выступает битумоудерживающая способность стабилизирующей добавки, которая должна удерживать битум в межзерновом пространстве и не повлиять отрицательно на свойства вяжущего и ЩМА. Вид и свойства этих добавок имеют большое значение для обеспечения требуемого содержания вяжущего и повышения качества смеси.

Для изучения микроструктуры асфальтобетона традиционно используется модельная система «битум + минеральный порошок», т.е. асфальтовяжущее вещество. В асфальтовяжущем оптимальной структуры средняя плотность образцов асфальтовяжущего максимальна, прочность достигает, как правило, максимально возможных значений. При введении в асфальтовяжущее различных стабилизирующих добавок изменяется битумоемкость, т.е. битумоудерживающая способность асфальтовяжущего. По изменению битумоемкости по сравнению с асфальтовяжущим без добавок можно оценить эффективность стабилизирующих добавок для щебеноочно-мастичных асфальтобетонных смесей. Для оценки эффективности введен коэффициент битумоудерживающей способности $K_{БС}$, который равен отношению оптимальному количеству битума (битумоемкости) с минеральным порошком и добавкой $B_{опт}^{МП+ДОБ}$ к оптимальному количеству битума (битумоемкости) битума с минеральным порошком $B_{опт}^{МП}$. Чем больше коэффициент битумоудерживающей способности, тем выше битумоудерживающая способность стабилизирующей добавки [1, С. 53].

В данной статье оценивается эффективность четырех полимерных стабилизирующих добавок Viatop 66, РТЭП, УНИРЕМ-002 и КМА КОЛТЕК традиционным способом, т.е. путем определения стекания в щебеноочно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС-15 по ГОСТ 31015-2002 при различном расходе добавок в смеси, а также по коэффициенту битумоудерживающей способности при соотношении минеральный порошок/добавка 97/3 и 90/10. Соотношение 97/3 в щебеноочно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМАС) соответствует расходу минерального порошка 12% в составе минеральной части смеси и расходе стабилизирующей добавки – 0,4% от массы минеральной части смеси. А соотношение 90/10 в ЩМАС может быть при расходе минерального порошка 12% и увеличенном расходе стабилизирующей добавки – 1,2% от массы минеральной части смеси.

Стабилизирующая добавка Viatop 66 по ТУ 5718-001-18268513-01 представляет собой гранулированную смесь из примерно 67% технической целлюлозы и 33% битума. Целлюлоза-полисахарид $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$, один из самых распространенных природных полимеров, главная составляющая клеточных стенок высших растений. Техническая целлюлоза – волокнистый полуфабрикат, получаемый в промышленности полной очисткой волокон растительных тканей от нецеллюлозных компонентов [2, С. 75].

Добавка РТЭП по ТУ 5718-001-79259416-2006 представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащую дорожный битум.

Гранулированная добавка УНИРЕМ-002 по СТО 61595504-002-2010 содержит активный резиновый порошок с размером частиц не более 0,8 мм, гелеобразующий адгезионный агент для предотвращения отслоения битумной пленки от минеральных материалов асфальтобетона, ускоритель набухания резины в битуме, сшающий агент [3, С. 79].

Комплексный модификатор асфальтобетона КМА КОЛТЕК по СТО 17423242-009-2010 представляют собой композицию из девулканизированного (регенерированного) неполярного каучука в виде резиновой крошки, полимеров, химических агентов, гелеобразующего, сшающего и адгезионного компонента [4, С. 56].

Для приготовления асфальтовяжущего и щебеноочно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС-15 использовались следующие материалы: дорожный вязкий нефтяной битум БНД 60/90 Московского НПЗ, доломитовый минеральный порошок Витебского ОАО «Доломит» Республики Беларусь, гранитный щебень фр. 5-10 мм, 10-15 мм, гранитный отсев 0-5 мм. Состав ЩМАС-15 следующий: щебень фр. 5-10 мм – 43%, фр. 10-15 мм – 31%, отсев 0-5 мм – 13%, минеральный порошок – 13%, битум – 6% от массы минеральной части. Расход вышеназванных стабилизирующих добавок изменялся от 0,2 до 1,2% от массы минеральных материалов в ЩМАС-15, а в асфальтовяжущем соотношение минеральный порошок/добавка составляло 97/3 и 90/10.

Значения показателя стекания вяжущего В в ЩМАС-15 с различными полимерными добавками приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателя стекания вяжущего В в ЩМАС-15 с различными полимерными добавками

№ п/п	Расход добавки, % от массы минеральной части	Показатель стекания вяжущего в ЩМАС-15 с полимерной добавкой			
		Viatop 66	РТЭП	УНИРЕМ-002	КМА КОЛТЕК
1	2	3	4	5	6
1	0	2,3	2,3	2,3	2,3
2	0,2	0,7	2,3	2,78	0,78
3	0,3	0,12	2,33	3,18	0,17
4	0,4	0,06	2,34	2,94	0,10
№ п/п	Расход добавки, % от массы минеральной части	Показатель стекания вяжущего в ЩМАС-15 с полимерной добавкой			
		Viatop 66	РТЭП	УНИРЕМ-002	КМА КОЛТЕК
5	0,6	0,02	2,36	2,35	0,05
6	1,2	0,01	2,24	1,70	0,04

Таблица 2 – Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего с различными полимерными добавками при расходе битума 12%

Название полимерной добавки	Соотношение минеральный порошок /полимерная добавка	Средняя плотность ρ , $\text{г}/\text{см}^2$	Водонасыщение W , %	Прочность при сжатии, МПа, при температуре, $^{\circ}\text{C}$			Коэффициент водостойкости K_w
				20°	20вод°	50°	
1	2	3	4	5	6	7	8
Viatop 66	100/0	2,31	0,29	9,10	8,83	3,79	0,97
	96/4	2,21	1,06	7,51	6,76	3,25	0,90
	94/6	2,14	3,05	8,46	6,96	3,95	0,84
	92/8	2,11	4,50	7,28	6,15	2,97	0,82
	90/10	2,01	9,45	6,15	3,37	2,29	0,55
КМА КОЛТЕК	96/4	2,17	0,73	3,20	2,85	1,18	0,89
	94/6	2,16	0,24	3,22	2,96	1,53	0,92
	92/8	2,08	2,00	2,45	2,21	0,87	0,90
	90/10	2,06	1,66	1,94	1,90	0,84	0,98
УНИРЕМ-002	96/4	2,19	0,52	5,21	5,26	2,85	1,01
	94/6	2,10	2,64	3,69	3,65	1,95	0,99
	92/8	2,04	2,86	3,5	3,15	1,59	0,90
	90/10	2,06	1,52	2,58	2,45	1,03	0,95
РТЭП	96/4	2,21	0,13	8,80	8,62	5,13	0,98
	94/6	2,17	0,14	8,74	8,91	4,26	1,02
	92/8	2,11	0,22	8,27	7,94	4,14	0,96
	90/10	2,07	0,43	7,84	8,00	4,47	1,02

Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего с различными полимерными добавками при расходе битума 12%, т.е. при оптимальном его расходе в асфальтовяжущем без добавок, приведены в таблице 2. С увеличением расхода добавок средняя плотность образцов асфальтовяжущего снижается, водонасыщение существенно увеличивается в асфальтовяжущем с добавкой Viatop 66, что свидетельствует о больших битумоудерживающих возможностях этой добавки. Водонасыщение в асфальтовяжущем с добавками РТЭП, УНИРЕМ-002 и КМА КОЛТЕК незначительно изменяется, что свидетельствует о незначительных битумоудерживающих возможностях этих добавок. Прочность при сжатии при 20°C и 50°C с увеличением расхода добавок снижается. Значение показателей прочности самые высокие в асфальтовяжущем с добавкой РТЭП, самые низкие с добавками КМА КОЛТЕК и УНИРЕМ-002, а в асфальтовяжущем с добавкой Viatop 66 значения показателей прочности ближе к значениям с добавкой РТЭП.

Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего с полимерными добавками при соотношении минеральный порошок/добавка 90/10 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего с различными полимерными добавками с их расходом 10%

№ п/п	Название добавки	Расход от массы мин. пор.+ добавка	Средняя плотность ρ , $\text{г}/\text{см}^2$	Водонасыщение W , %	Прочность при сжатии, МПа, при температуре, $^{\circ}\text{C}$			Коэффициент водостойкости K_w
					20°	20вод°	50°	
1	Viatop 66	10	1,95	16,33	5,92	3,68	1,58	0,62
2		12	2,01	9,45	6,15	3,37	2,28	0,55
3		16	2,06	2,51	3,98	4,72	1,01	1,19
4		18	2,05	1,53	3,39	3,51	0,84	1,04
5	КМА КОЛТЕК	10	1,98	3,60	3,13	3,22	1,64	1,03
6		12	2,06	1,66	3,88	3,79	1,67	0,98
7		13	1,98	1,60	3,45	3,38	1,61	0,98
8		14	1,90	1,50	2,99	2,44	1,55	0,98
9		15	1,90	1,20	3,14	3,91	1,97	1,25
10		17	1,93	1,00	3,29	3,74	1,23	1,14
11		19	1,95	0,80	3,30	3,80	1,30	1,15
12	РТЭП	10	2,02	2,91	7,67	8,18	4,45	1,07

Окончание табл. 3 – Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего с различными полимерными добавками с их расходом 10%

№ п/п	Название добавки	Расход от массы мин. пор.+ добавка	Средняя плотность ρ , г/см ³	Водона сыщение W, %				Коэффициент водостойкости K_b
					20°	20вод°	50°	
13	УНИРЕМ-002	12	2,07	0,43	7,84	8,03	4,47	1,02
14		13	2,04	0,35	5,87	6,46	4,57	1,10
15		14	2,03	0,22	4,97	5,69	4,68	1,16
16		16	2,02	0,15	4,74	5,24	4,89	1,10
17		18	1,99	0,08	4,25	4,81	4,18	1,12
18	Viatop 66	10	2,02	1,31	3,91	3,06	1,52	0,78
19		12	2,06	1,52	2,58	2,47	1,03	0,95
20		13	2,00	1,36	2,46	2,41	1,07	0,98
21		14	1,96	1,22	2,41	2,70	1,16	1,12
22		16	1,98	1,07	2,05	2,72	0,90	1,33
23		18	1,97	0,45	2,00	2,35	0,74	1,18

Расход битума в асфальтовяжущем изменялся от 10 до 19% от массы минерального порошка с добавкой. На основании полученных зависимостей можно сделать вывод, что оптимальное количество битума (битумоемкость) в асфальтовяжущем с добавкой Viatop 66 составляет 17%, с КМА КОЛТЕК – 12,5%, с УНИРЕМ-002 – 12,4%, с РТЭП – 12,0%.

Оценка битумоудерживающей способности полимерных добавок в асфальтовяжущем приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка битумоудерживающей способности полимерных добавок в асфальтовяжущем

№ в порядке убывания эффективности добавок	Название полимерной добавки	Соотношение ми- неральный поро- шок/полимерная добавка	Оптимальное ко- личество битума в асфальтовяжущем, % от массы мине- рального по- рошка+добавка	Коэффициент биту- моудерживающей способности $K_{БС}$
1	2	3	4	5
1	Viatop 66	97/3 90/10	14,0 17,0	1,17 1,42
2	КМА КОЛТЕК	94/3 90/10	12,4 12,5	1,03 1,04
3	УНИРЕМ-002	94/3 90/10	12,0 12,4	1,00 1,03
4	РТЭП	94/3 90/10	12,0 12,0	1,00 1,00

На основании полученных данных можно сделать вывод, что наиболее эффективной является добавка Viatop 66 с коэффициентом битумоудерживающей способности 1,14 при соотношении минеральный порошок/добавка 97/3 и 1,42 при соотношении 90/10. Незначительно эффективной является добавка КМА КОЛТЕК с коэффициентом 1,03 и 1,04, а добавки УНИРЕМ-002 и РТЭП не обладают битумоудерживающей способностью, что коррелируется с данными по определению показателя стекания ЩМАС-15, приведенными в таблице 1. С учетом того, что показатель стекания в соответствии с ГОСТ 31015-2002 должен быть не более 0,2, наиболее эффективной добавкой можно считать Viatop 66, менее эффективной КМА КОЛТЕК начиная с расхода добавок 0,3%. Добавки РТЭП и УНИРЕМ-002 не позволяют достичь требуемого показателя стекания 0,2 при всех расходах добавок, т.е. не являются стабилизирующими добавками.

Основываясь на вышеприведенных экспериментальных данных возможно объяснить изменения физико-механических свойств асфальтовяжущего с рассмотренными полимерными добавками и их битумоудерживающей способности рассмотрев процессы структурообразования в асфальтовяжущем. С увеличением расхода целлюлозной добавки Viatop 66 в асфальтовяжущем и асфальтобетоне значительно увеличивается удельная поверхность набухших агрегатов микрофибрилл, являющихся элементами структуры целлюлозных волокон, и, соответственно, площадь структурированных граничных слоев битума на межфазной поверхности битум-целлюлоза. Таким образом, добавка Viatop 66 вызывает образование вторичной битумо-целлюлозной микроструктуры, характеризующейся наличием связанного, структурированного битума в граничных слоях на межфазной поверхности, которая не разрушается в асфальтовяжущем и асфальтобетонной смеси при сжимающих уплотняющих воздействиях. Это подтверждается существенным увеличением значения водонасыщения образцов асфальтовяжущего с увеличением расхода добавки (таблица 2), прочность при этом снижается из-за увеличивающего дефицита битума в системе по сравнению с

оптимальной структурой. Такой механизм структурообразования и проявления битумоудерживающей способности позволяет удерживать большой объем битума в фиксированном состоянии в межзерновом пространстве асфальтовяжущего и щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси. Кроме этого, возможно увеличить объем межзернового пространства в ЩМАС, увеличить количество щебня в смеси и соотношение между фракциями, увеличив одновременно расход битума и целлюлозной стабилизирующей добавки.

В асфальтовяжущем и ЩМАС с добавкой КМА КОЛТЕК и УНИРЕМ-002 процессы структурообразования связаны с наличием в добавке компонентов, которые инициируют образование совместных новых структур за счет протекания химических реакций полимеризации и физико-химических процессов гелеобразования в битумной системе при высоких температурах в процессе получения асфальтовяжущего или ЩМАС. Резиновая крошка при формировании структуры битума, асфальтовяжущего и ЩМАС играет роль дисперсного органического заполнителя в асфальтовяжущем и ЩМАС. С увеличением расхода добавки в асфальтовяжущем водонасыщение образцов увеличивается не так существенно как в случае с целлюлозной добавкой Viatop 66, что свидетельствует о том, что невыжимаемого при уплотнении слоя битума в системе остается значительно меньше, чем в асфальтовяжущем с целлюлозной добавкой.

В асфальтовяжущем и ЩМАС с добавкой РТЭП ввиду инертности и неактивности полиолефинового носителя структуры, которые бы способствовали образованию невыжимаемых в межзерновое пространство слоев битумного вяжущего, отсутствуют. Поэтому с увеличением расхода добавки водонасыщение образцов асфальтовяжущего незначительно снижается, а прочность при 50 °C при всех расходах добавки выше, чем у асфальтовяжущего без добавок и с другими добавками, что свидетельствует о повышенной теплостойкости асфальтовяжущего и ЩМАС с добавкой РТЭП.

Список литературы / References

1. Соломенцев, А. Б. Оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона в асфальтовяжущем [Текст] / А. Б. Соломенцев, И. А. Баранов // Строительство и реконструкция. – 2010. – №4. – С. 53-58.
2. Соломенцев, А. Б. Структура дорожного битума и его взаимодействие со стабилизирующими волокнистыми добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона [текст] / А. Б. Соломенцев, И. А. Баранов // Строительство и реконструкция. – 2013. – №4. – С. 75-83.
3. Соломенцев, А. Б. Взаимодействие дорожного битума со стабилизирующими полимерными добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] / А.Б. Соломенцев, И. А. Баранов / Юбилейная Международная научно-практическая конференция «Наукоменные технологии и инновации», 9-10 октября 2014 г.: [сборник докладов, часть 5], – Белгород, БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014 г. – С. 79-83.
4. Кошкаров В. Е. Для улучшения показателей [Текст] / В. Е. Кошкаров, Т. С. Худякова // Дорожная держава, 2016. – №69. – С. 56-61.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Solomentsev, A. B. Ozenka bitumuaderjvayshei sposobnosti stabiliziruyshih dobavok dla shebenozno-mastichnogo asfaltobetona v asfaltovuyzyshem [Evaluation bicommutative the ability of stabilizing additives for stone mastic asphalt and asphalt binders] [Text] / A. B. Solomentsev, I. A. Baranov // Construction and reconstruction. – 2010. – №4. – P. 53-58. [in Russian]
2. Solomentsev, A. B. Struktura dorognogo bituma i ego vzaimodeictvie so stabiliziruyshimi voloknistimi dobavkami dla shebenozno-mastichnogo asfaltobetona [Structure of the bitumen and its interaction with stabilizing fiber additives for stone mastic asphalt concrete] [Text] / A. B. Solomentsev, I. A. Baranov // Construction and reconstruction. – 2013. – №4. – P. 75-83. [in Russian]
3. Solomentsev, A. B. Vzaimodeistvie dorognogo bituma so stabiliziruyshimi polimernimi dobavkami dla shebenozno-mastichnogo asfaltobetona [Interaction of bitumen with a stabilizing polymer additives for stone mastic asphalt concrete] [Text] / A. B. Solomentsev, I. A. Baranov / anniversary international scientific-practical conference "high technologies and innovations", 9-10 October 2014: [a collection of papers, part 5], Belgorod, BGU im. V. G. Shukhov, 2014 – P. 79-83. [in Russian]
4. Koshkarov V. E. Dla ulushenia pokazatelei [To improve performance] [Text] / E. V. Koshkarov, T. S. Khudyakova // Traffic power, 2016. – №69. – P. 56-61. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.170

Сташевский П.С.¹, Яковина И.Н.²

^{1,2}Кандидат технических наук,

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)

ПОДГОТОВКА ВЫБОРКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация

В работе приводится описание процедуры сбора исходных данных в виде массива изображений для задачи распознавания туристически привлекательных объектов в городе. Описывается процедура сбора данных и ее реализация с использованием публично доступных API сервисов Flickr и Foursquare, файловой базы данных SQLite и языка разработки Python. Для собранных данных описывается процедура разметки на классы для задачи бинарной классификации изображений туристически привлекательных объектов и полученные описательные характеристики массива.

Ключевые слова: задача распознавания, сбор данных, обучающая выборка, туристически привлекательный объект.

Stashesvky P.S.¹, Yakovina I.N.²

^{1,2}PhD in Engineering,

Novosibirsk State Technical University (NSTU)

COLLECTION OF SAMPLE IMAGES FOR RECOGNITION OF TOURIST ATTRACTIVE PLACES

Abstract

The paper describes the procedure of collecting raw data in the form of an images array in the context of the recognition problem for attractive tourist places in the city. A procedure of data collection and its implementation with the use of publicly available services API Flickr and Foursquare, SQLite database and Python are described. For the collected data describes how markings on classes for binary image classification tasks tourist attractive sites and obtained the descriptive characteristics of the array.

Keywords: image recognition, data collection, training set, tourist attractive places.

Введение

Интенсивное развитие социальных сетей и возрастающее количество их пользователей побуждают разработчиков и исследователей онлайн-сервисов решать новые задачи анализа разнородных гигантских массивов данных и использовать методы, получивших название social web mining (SWM – анализ данных социальных сетей) [1,2]. В данной статье рассматривается подход к решению одной из задач SWM, позволяющей на основе имеющихся данных социальных сетей получать нового вида информацию о туристически привлекательных объектах (ТПО).

Особенностью развития социальных сетей является быстрая скорость реакции на различные объекты и события, в частности на появление различных памятников, скверов и парков, фонтанов, новых зданий и других объектов городской инфраструктуры, часть из которых может быть потенциально привлекательна с туристической точки зрения [2,3]. В связи с этим социальная сеть как поставщик актуальной и развернутой информации может быть полезна при планировании туристического маршрута, написании обзорных статей, формировании списков обновлений для поисковых сервисов и т.д. Понятие *туристически привлекательного объекта* в рамках данной работы предполагает обязательное соблюдение следующих условий: во-первых, объект относится к одной из общепринятых категорий, используемых в туристических каталогах; во-вторых, объект представляет интерес с визуальной точки зрения и в-третьих, объект имеет привязку к конкретной географической точке. В рамках данной работы рассматриваются 12 классов ТПО: архитектурные сооружения и объекты природной среды (здания, фонтаны, памятники, парки, пруды, скверы и т.д.), для которых возможно составить пеший обзорный маршрут по городу.

Постановка задачи распознавания туристически привлекательных объектов

Для распознавания ТПО могут быть использованы различные группы данных, генерируемые пользователями социальных сетей, в частности, такие как: отзывы, фотографии, информация о геолокации. Поскольку в рамках данной работы в качестве источника данных будут использоваться изображения с информацией о геолокации, то задачу распознавания ТПО можно представить в виде последовательного выполнения этапов: 1) подготовки данных, 2) бинарной классификации для отсеивания изображений, не относящихся к ТПО, 3) настраиваемой или гибкой классификации для уточнения класса изображения (здание, мост, парк и т.д.), 4) группировки отдельных изображений в ТПО и разметки, 5) оценки объектов с последующим ранжированием.

Для решения задач классификации изображений в работе исследуется применение глубоких архитектур нейронных сетей, в частности, сверточных нейронных сетей, показывающих на текущий момент одни из лучших результатов в задаче распознавания естественных сигналов [4]. Для разработки алгоритмов оценки и ранжирования ТПО в работе планируется использовать методы линейной классификации и модификацию метода опорных векторов Ranking SVM.

Процедура сбора исходных данных

В качестве сервисов-поставщиков исходных данных в работе используются данные сервиса для размещения фотографий Flickr (<http://flickr.com>) и социальной сети с функцией геопозиционирования Foursquare (<http://foursquare.com/>), полученные с помощью публично открытых API.

Процедура работы с сервисами представлена на рис. 1 и предполагает выполнение следующих этапов: 1) получение изображений и дополнительной информации из API Flickr и Foursquare, 2) сохранение полученного изображения на жесткий диск, 3) добавление в базу данных новой записи об изображении с данными о геопозиции и другой дополнительной информацией (используется файловая БД SQLite).

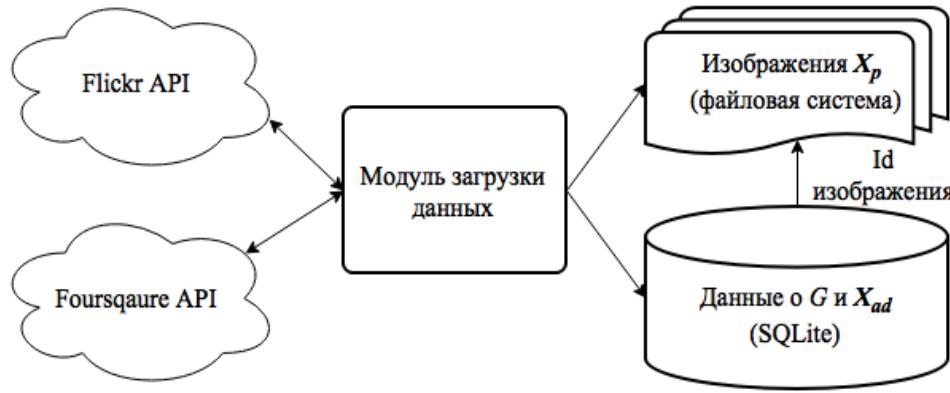


Рис. 1 – Работа с API сервисов

В качестве средства реализации модуля загрузки данных использовался язык разработки Python и библиотеки: flickr_api - взаимодействие с API Flickr, foursquare - взаимодействие с API Foursquare, sqlite3 - создание БД и запись в нее данных, urllib - скачивание изображений, json - разбор http-ответа API в формате json. Следует отметить, что публичные API имеют ряд ограничений на количество запросов (для Foursquare API - от 500 до 5000 запросов в час, для Flickr API - 3600 запросов в час), поэтому процедура скачивания изображений занимает продолжительное время.

Foursquare является социальной сетью, в которой пользователи помимо фотографий дополнительно генерируют достаточно большое количество данных о посещенных объектах с точками привязки к геолокациям, которые будут использованы в процессе оценки и ранжирования ТПО, в частности: *categories* - рубрики для каталогизации мест (<https://developer.foursquare.com/categorytree>); *name* - общеупотребительное название геолокации; *contacts* - контакты объекта (телефон, наличие сайта, группы в социальных сетях); *stats* - статистика посещения места (*usersCount* - количество побывавших на объекте пользователей, *tipCount* - количество текстовых подсказок, оставленных пользователями, *checkinsCount* - количество посещений).

Описание массива данных

С целью предварительного анализа особенностей решения поставленной задачи было собрано 4534 изображений (геолокация - г. Новосибирск): 1790 изображения с использованием Flickr API, 2744 с использованием Foursquare API. Общий размер всех скаченных данных составил 1,31 Гб. Для собранных объектов была выполнена разметка классов $Y=\{0,1\}$. Изображение классифицировалось как ТПО, если выполнялись следующие критерии:

1. изображение четкое, без помех и размытий, не темное;
2. на изображении отсутствуют лица людей;
3. изображение относится к одной из туристических рубрик, описанных в постановке задачи;
4. объект представляет интерес для посещения при визуальном анализе (для спорных изображений использовалось голосование трех экспертов с подсчетом большинства голосов).

Характеристики размеченного массива данных и примеры изображений представлены на рис. 2.

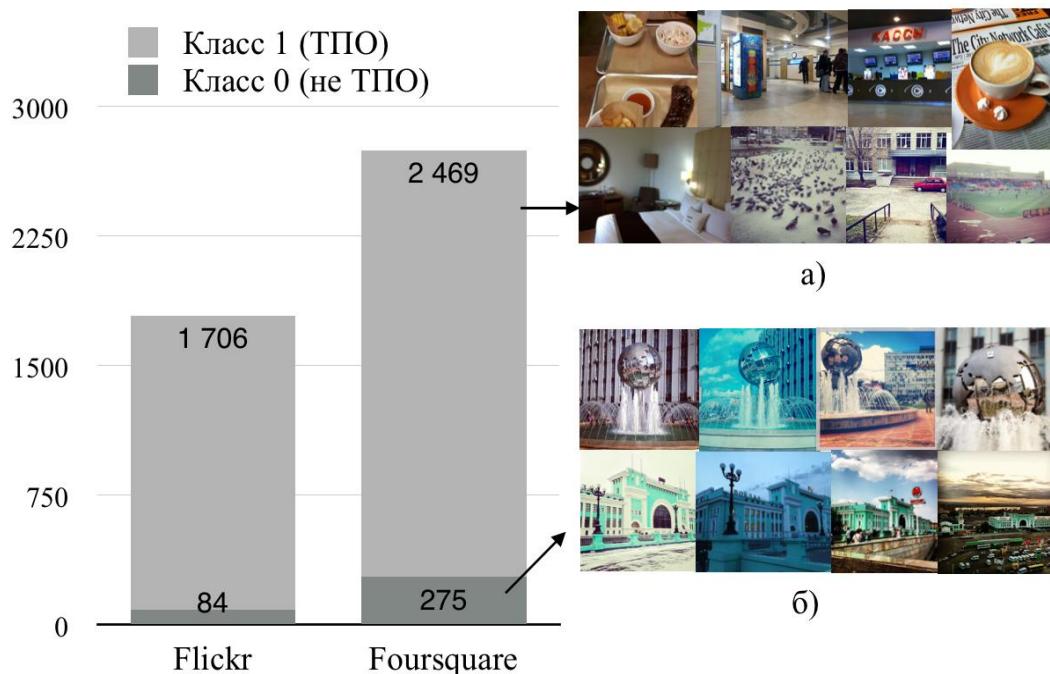


Рис. 2 – Характеристики массива данных изображений:
a – не относятся к классу ТПО, б – относятся к классу ТПО

Для сервиса Flickr релевантными классу ТПО получилось 84 изображения (4,7 % от исходного массива данных), тогда как для сервиса Foursquare этот показатель составляет 275 (10%), что логично объясняется целью сервиса Foursquare - фиксировать и делиться своей геопозицией с друзьями. Следовательно, данный сервис более привлекателен с точки зрения сбора релевантных данных. Анализ изображений, не относящихся к классу ТПО, показывает, что здесь преобладают фотографии следующих типов: 1) фотографии, на которых присутствуют лица людей, 2) фотографии еды и продуктов, 3) фотографии интерьера различных заведений, 4) нечеткие фотографии городской среды.

Собранные массивы данных в дальнейшем планируется использовать для обучения и тестирования алгоритмов классификации, оценки и ранжирования.

Заключение

В рамках данной работы был разработан программный модуль для сбора исходных данных с использованием публично доступных API сервисов Flickr и Foursquare. Разработанный модуль был использован для загрузки 4534 изображений и последующей разметки на классы. Полученные результаты по разметке показывают, что для более точного обучения бинарного классификатора в дальнейшем необходимо будет увеличить процент изображений, относящихся к классу ТПО, путем добавления уже размеченных изображений из открытых источников данных.

Список литературы / References

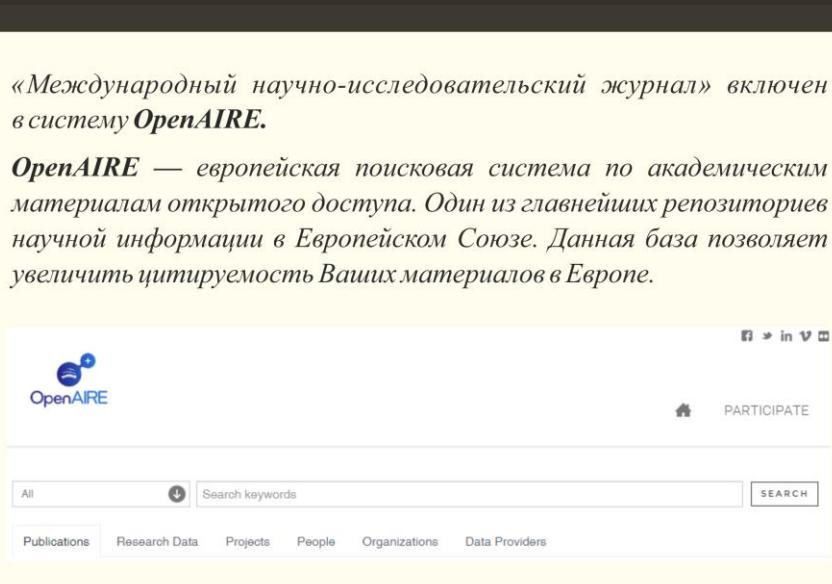
1. Herrouz A., Khentout C., Djoudi M. Overview of Web Content Mining Tools // The International Journal of Engineering and Science (IJES), Volume 2, Issue 6, June 2013, ISSN: 2319 – 1813.
2. Balan S., Ponmuthuramalingam P. A study of various techniques of Web Content Mining Research Issues and Tools // International Journal of Innovative Research and Studies (IJRIS), Volume 2, Issue 5, May 2013, ISSN: 2319-9725.
3. Cortizo, J., Carrero, F., Gomez, J., Monsalve, B., Puertas, E.:Introduction to Mining SM // In: Proceedings of the 1 Workshop on Mining SM, 1 – 3, 2009.
4. Lee H., Grosse R., Ranganath R., Ng A.Y. Convolutional Deep Belief Networks for Scalable Unsupervised Learning of Hierarchical Representations. Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning. 2009.
5. Сташевский П. С. Метод профилей для селекции признаков из временных рядов в задачах анализа данных / П. С. Сташевский, И. Н. Яковина // Автоматика и программная инженерия. - 2015. – № 4 (14). – С. 59–64.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Herrouz A., Khentout C., Djoudi M. Overview of Web Content Mining Tools // The International Journal of Engineering and Science (IJES), Volume 2, Issue 6, June 2013, ISSN: 2319 – 1813.
2. Balan S., Ponmuthuramalingam P. A study of various techniques of Web Content Mining Research Issues and Tools // International Journal of Innovative Research and Studies (IJRIS), Volume 2, Issue 5, May 2013, ISSN: 2319-9725.
3. Cortizo, J., Carrero, F., Gomez, J., Monsalve, B., Puertas, E.:Introduction to Mining SM // In: Proceedings of the 1 Workshop on Mining SM, 1 – 3, 2009.
4. Lee H., Grosse R., Ranganath R., Ng A.Y. Convolutional Deep Belief Networks for Scalable Unsupervised Learning of Hierarchical Representations. Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning. 2009.
5. Stashevskiy P. S. Metod profilej dlja selekcii priznakov iz vremennyh rijadov v zadachah analiza dannyh [Method of feature engineering for time series in data analysis problems] / P. S. Stashevskiy, I. N. Yakovina // Avtomatika i programmnaja inzhenerija [Automatics & Software Enginiry]. - 2015. – № 4 (14). – P. 59–64.

«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.



The screenshot shows the OpenAIRE homepage with the journal's logo and a brief description of its inclusion. Below is a search bar and navigation links for Publications, Research Data, Projects, People, Organizations, and Data Providers.

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.172

Сучилин В.А.¹, Кочетков А.С.², Губанов Н.Н.³

¹ORCID: 0000-0001-7467-5033, Доктор технических наук, ^{2,3}Магистр,

Российский государственный университет туризма и сервиса

СТРУКТУРНАЯ ГИБКОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы гибкости структурных схем теплонасосных установок (ТНУ) типа грунт-вода для отопления и горячего водоснабжения помещений. Предлагается новый подход к компоновке теплонасосных установок малой и средней мощности, применяемых в частном секторе и предприятиях сферы быта, позволяющих решать проблему расширения их конструктивного ряда, многофункциональности применения и повышения востребованности, отвечая растущим запросам потребителей. Сущность новизны заключается в компоновке двух и более типовых бытовых тепловых насосов (ТН) в одну технологическую систему, используя последовательный, параллельный или смешанный способ соединения их.

Ключевые слова: тепловые насосы, теплонасосные установки, структурная гибкость, структурные модули, эффективность.

Suchilin V.A.¹, Kochetkov A.S.², Gubanov N.N.³

¹ORCID: 0000-0001-7467-5033, PhD in Engineering, ^{2,3}Undergraduate student,
Russian State University of Tourism and Service

STRUCTURAL FLEXIBILITY OF HEAT PUMP SYSTEMS

Abstract

This article discusses the flexibility of structural charts of heat pump systems (HPS) such as ground-water type for room heating and hot water supply. A new approach to the layout of heat pumps of low and medium power which are used in the private sector and for enterprises allows them to solve the problem of the constructive range expansion, multi-functionality of application and increased demand, responding to the growing demands of consumers. The innovation is concerned with the arrangement of two or more types of household heat pumps (TN) in one processing system using serial, parallel or mixed connection method.

Keywords: heat pumps, heat pump systems, structural flexibility, structural modules efficiency.

Разработки по структурной гибкости теплонасосных установок вызваны назревшей необходимостью расширения системы отопления домов частного сектора и помещений сферы быта за счет альтернативных источников энергии [1, 2]. Решение поставленной задачи возможно введением новых технологических модулей к известному ассортименту бытовых тепловых насосов, широко представленных на современном рынке. В общем, это гибкость за счет расширения организационных возможностей и производственных мощностей малых предприятий, осуществляющих монтажные работы и обслуживание ТНУ клиентов, желающих повысить уровень комфорта проживания, путем освоения, наряду с отоплением помещений батареями, технологий теплых полов, обогрева закрытого бассейна, теплицы и т.п. запросов.

Гибкие структуры, как известно, обеспечивают наиболее эффективное использование данного вида оборудования, так как позволяют повысить надежность за счет предварительного контроля и обкатки комплектующих модулей и, следовательно, сократить численность обслуживающего персонала и создавать мобильные системы оперативного мониторинга за эксплуатацией оборудования.

Важной особенностью гибких структур технологического оборудования, является потенциальная способность их к интеграции в новые схемные решения, что касается ТНУ, то структурная гибкость позволит, на наш взгляд, расширить их конструктивный ряд, повысить востребованность в бытовых ТН и создаст возможность по увеличению сферы применения, отвечая запросам потребителей по многофункциональности данного оборудования.

Как отмечалось выше, реальные запросы населения по обеспечению автономным теплом постоянно растут. Однако обычный бытовой ТН, например типа «грунт-вода», не в состоянии удовлетворить эти потребности в тепле. Два и более ТН – это не только дорого, но и не эффективно, так как возникают сложности подключения каждого из них к своему внешнему грунтовому контуру, а это значительные дополнительные площади на участке возле дома.

Решение возможно в создании гибких структур ТНУ на базе типовых бытовых ТН, легко перестраиваемых под различные потребности клиентов. Подобных образцов в торговой сети практически еще нет или они весьма ограничены по ассортименту. Решить задачу компоновки двух и более типовых ТН в одну технологическую систему можно за счет унификации составных элементов конструкции ТНУ. Под уровнем унификации в этом случае будем понимать насыщенность их соответственно унифицированными и типовыми составными частями (деталями, узлами, механизмами).

В разрабатываемой системе отопления и ГВС типовыми, естественно, будут ТН. Внешний грунтовый контур установки будет выступать унифицированным агрегатом, обеспечивающим стабильность функционирования ряда гибких ТНУ, а оригинальными остаются лишь несколько деталей и узлов, обеспечивающих перекомпоновку установки при необходимости выполнения ее под заказ конкретного потребителя.

Создание гибких структур ТНУ, отвечающих разнообразным потребностям клиентов предполагает использовать последовательный, параллельный или смешанные схемы соединения ТН. Необходимость обеспечения стабильности и достаточности в низкопотенциальной тепловой энергии, получаемой ТНУ из зоны расположения теплообменника внешнего грунтового контура показано в статье [1].

Предлагается принципиальная схема ТНУ для повышения эффективности эксплуатации и многофункциональности применения, созданной на основе типовых ТН малой или средней мощности, соединенных последовательно [4].

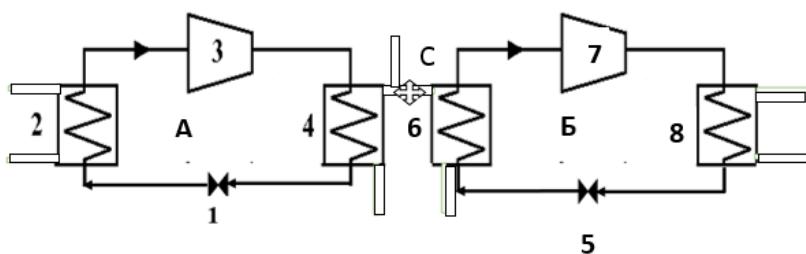


Рис. 1 – Принципиальная структурная схема бытовой двухступенчатой ТНУ

Схема теплонососной установки включает (см. рисунок) первый тепловой насос **А** компрессионного типа, работающий по схеме грунт-вода; дроссель 1, внешний контур с теплообменником, помещенный в грунт (на рис. не показано), теплообменный контур первого теплового насоса с емкостью 2 для поступления низкотемпературного теплоносителя от грунтового теплообменника с помощью жидкостного насоса (на рис. не показано) и с трубчатым испарителем с циркулирующим хладагентом, помещенным в данную емкость, компрессор 3, емкость 4 для отопительной воды с трубчатым конденсатором в данной емкости. Второй тепловой насос **Б** с дросселем 5, емкостью 6 с трубчатым испарителем хладагента, компрессором 7, емкостью 8 для отопительной воды с трубчатым конденсатором.

Согласно схемы (см. рисунок) отопительная вода на выходе из емкости 4 может выступать при соответствующей установке регулирующего вентиля **С** как теплоноситель для обогрева теплых полов с температурой 35-40°C или как технологический теплоноситель с той же температурой поступающий в емкость 6 для работы испарителя второй ступени ТНУ, позволяющей получать температуру отопительной воды на выходе из емкости 8 с конденсатором второй ступени с температурой 60-65°C. Вентиль **С** позволяет подавать нагретую воду с выхода первого ТН одновременно и для отопления теплых полов и в емкость 6 для работы испарителя второй ступени, обогревая как минимум два помещения.

Для реализации отмеченной многофункциональности разработанной ТНУ важным является обеспечение работы ее необходимым количеством низкопотенциальной энергией от внешнего грунтового контура. Эта задача решалась путем установки в зоне грунтового теплообменника аккумулятора тепловой энергии [3]. Аккумулятор тепловой энергии выполнен в виде двух емкостей, соединенных между собой трубопроводами, в которых циркулирует жидкий теплоноситель, причем в первой емкости происходит нагрев жидкого теплоносителя от размещенного в первую емкость нагревателя, после чего нагретый жидкий теплоноситель из первой емкости по подающим трубопроводам поступает во вторую емкость, и передает часть своей тепловой энергии через эти трубопроводы и стенки второй емкости в окружающий грунт, а охлажденный жидкий теплоноситель снова возвращается, отдавая оставшуюся часть своей тепловой энергии окружающему грунту по обратным трубопроводам в первую емкость для нагрева от размещенного в первую емкость нагревателя. Размещенный же в первой емкости аккумулятор тепловой энергии нагреватель представляет собой теплообменник, соединенный трубопроводами с солнечным коллектором в единый контур, по которому циркулирует жидкий теплоноситель. В качестве жидкого теплоносителя в аккумуляторе тепловой энергии используется вода, в качестве жидкого теплоносителя в теплообменнике солнечного коллектора используется антифриз.

Расход низкопотенциального теплоносителя-антифриза, циркулирующего во внешнем грунтовом контуре первого ТН и теплоносителя-воды на выходе из него обеспечивается жидкостными насосами (на рис. не показано). Управление их работой осуществляется программированным контроллером.

Таким образом, представленные технические решения по созданию гибких систем отопления помещений на базе бытовых ТН позволяют повысить технологичность конструкции, снизить затраты на монтажные работы, на обслуживание и ремонт. Упрощается вся система отопления и горячего водоснабжения, повышается надежность и мобильность систем отопления и ГВС. Повышение эксплуатационной гибкости системы на основе тепловых насосов наряду с расширением сферы применения, обеспечивает доступность реализации ее у заказчика. Решения отмеченных задач соответствуют направлению совершенствования технологического оборудования, технологии и методов контроля в сфере коммунального хозяйства и бытового обслуживания, могут повысить эффективность существующих ТНУ за счет придания им многофункциональности. А это залог повышенной востребованности и конкурентоспособности данной группы оборудования.

Список литературы / References

1. Сучилин В.А. Принцип модульности теплонососных установок / В.А. Сучилин, А.С. Кочетков, Н.Н. Губанов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 8 (50) – Часть 3. – С. 93-95.
2. Сучилин В. А. Гибкие системы отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов / В.А. Сучилин, А.С. Кочетков, С. А. Голиков // ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал – 2016. – № 1(22) – Часть 2. – С. 133-136.
3. Сучилин В.А., Кочетков А.С. Система отопления и горячего водоснабжения помещений. Заявка на изобретение – МПК F25B30/02. Регистрация в ФИПС - №2016104802 от 12.02.2016.
4. Сучилин В.А., Губанов Н.Н., Кочетков А.С. Каскадная теплонососная установка. Заявка на изобретение – МПК F25B30/02. Регистрация в ФИПС - №2016122646 от 08.06.2016.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Suchilin V.A. Printcip modul'nosti teplonasosnyh ustanovok [The principle of modular heat pump systems] / V.A. Suchilin, A.S. Kochetkov, N.N. Gubanov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2016. – № 8 (50) – Part 3 – P. 93-95. [in Russian]
2. Suchilin V.A. Gibkie sistemy otopleniya i goryachego vodosnabzheniya na osnove teplovyyh nasosov [Flexible heating system and hot water through heat pumps] /V.A. Suchilin, A.S. Kochetkov, S.A. Golikov // EVRAZISKIY SOYUZ UCHENYH (ESU) Ezhemesyachnyj nauchnyj zhurnal [SCIENTISTS EURASIAN UNION (SEU) The monthly scientific journal]. – 2016. – № 1 (22) – Part 2 – P. 133-136. [in Russian]
3. Suchilin V.A., Kochetkov A.S. Sistema otopleniya i goryachego vodosnabzheniya pomeshchenij. Zayavka na izobretenie [Heating and hot water facilities. An application for an invention] – IPC F25B30/02. Registration FIPS №2016104802 on 12.02.2016. [in Russian]
4. Suchilin V.A., Gubanov N.N., Kochetkov A.S. Kaskadnaya teplonasosnaya ustanovka. Zayavka na izobretenie [The cascade heat pump system. An application for an invention] – IPC F25B30/02. Registration FIPS №2016122646 on 06.08.2016. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.082

Сучилин В.А.¹, Кочетков А.С.², Губанов Н.Н.³

¹ORCID: 0000-0001-7467-5033, Доктор технических наук, ^{2,3}Магистр,

Российский государственный университет туризма и сервиса

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛНОАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы исследования функциональных параметров теплонасосных установок по их структурным схемам – физическим моделям. Приводится методика формирования термодинамического цикла по исходным данным тепловых насосов применяемых в быту. Показано, что во многом эффективность работы теплонасосных установок, зависит от использования энергоемких хладагентов. Новизна исследования заключается в определении температуры, давления и других параметров термодинамического цикла типового теплого насоса, работающего на мало еще изученном фреоне.

Ключевые слова: теплонасосная установка, термодинамический цикл, функциональные параметры, хладагент.

Suchilin V.A.¹, Kochetkov A.S.², Gubanov N.N.³

¹ORCID: 0000-0001-7467-5033, PhD in Engineering, ^{2,3}Undergraduate student,

Russian State University of Tourism and Service

RESEARCH OF FUNCTIONAL PARAMETERS OF HEAT PUMP SYSTEMS BASED ON PHYSICAL MODELS

Abstract

The study of the functional parameters of heat pump systems by their structural schemes and physical models is presented in the paper. The technique of thermodynamic cycle formation from the initial data of heat pumps applied in everyday life is described. It is shown that the performance of heat pump systems depends largely on the use of energy-dependent refrigerants. The novelty of this study is the determination of the temperature, pressure and other parameters of a thermodynamic cycle of a typical warm pump, running on little studied Freon.

Keywords: heat pump system, thermodynamic cycle, functional parameters, refrigerant.

Б настоящее время можно с определенной уверенностью отметить, что наблюдается достаточно бурный рост индивидуального строительства. Появляются все новые и новые содовые кооперативы, пригородные дачные объединения, обживаются за счет городских пенсионеров практически заброшенные деревни. Естественно возрастает потребность электрической и тепловой энергии. В тоже время происходит непрерывное повышение стоимости на все виды энергии, в том числе на отопление и горячего водоснабжения (ГВС) [1].

В связи с этим постоянно ведутся исследования в области эффективного использования альтернативных источников энергии. Одним из перспективных путей в этой области, на наш взгляд, является использование теплонасосных установок (ТНУ), преобразующих низкопотенциальную энергию, например, земли. В этом случае на входе в тепловой насос (ТН) получает теплоноситель с температурой 5-10 °C и выдает на выходе теплоноситель - отопительная вода в 45-65 °C. Предложено множество технических решений повышающих стабильность температурных параметров отопительного теплоносителя, обеспечения круглогодичного автономного функционирования системы отопления и ГВС [2], [3].

Известно, что во многом эффективность работы систем отопления и ГВС разработанных на базе ТН зависит от использования того или иного хладагента. Ассортимент их достаточно широк и продолжает пополняться все новыми разработками. Видимо настало время более внимательно обратится к изобутану R600a. Он получил популярность как хладагент после принятия в 1997 году Киотского протокола, направленного на ограничение выбросов в атмосферу газов усиливающих парниковый эффект.

Поиски экологически безопасной альтернативы хладагентам R12 и R134a, широко применяемых в холодильной технике, привели к решению использовать в качестве хладагента природный газ изобутан. Хладагент изобутан получил условное сокращенное международное обозначение R600a.

Помимо высоких экологических свойств R600a обладает рядом других преимуществ по сравнению с R12 и R134a:

- изобутан имеет более высокий, чем R12, холодильный коэффициент, что уменьшает энергопотребление;
- количество хладагента R600a заправляемого в холодильный агрегат сокращается по сравнению с R12 примерно на 60 %;
- по теплофизическим и эксплуатационным характеристикам R600a также превосходит R134a;
- холодильные агрегаты на R600a работают при более низком давлении в рабочем контуре хладагента, что характеризуется меньшим уровнем шума, и способствует долговечности установки.

Изобутан очень хорошо растворим в минеральном масле. Совместимость изобутана с минеральным маслом и конструкционными материалами отечественных компрессоров позволяет максимально упростить процесс перехода с R12 на изобутан. Изобутан нейтрален к материалам холодильного агрегата и компрессора, т.е. не вступает с ними в реакцию и не образует тяжелые углеводороды, которые могут забивать систему холодильной техники, что обеспечивает надежную длительную эксплуатацию.

Хладагент R600a не находил широкого применения в качестве хладагента из-за повышенной пожароопасности. Однако доза заправки изобутаном в бытовой холодильной технике исключительно мала, что по заключению специалистов практически не может привести к пожару при строгом соблюдение правил техники безопасности при заправке и ремонте агрегатов.

Выбор наиболее оптимальной структуры ТН требует сравнения многих вариантов схем ТН, фреонов, задаваемых температурных перепадов в теплообменниках и других параметров. Расчет тепловых насосов традиционно проводится с помощью p , h – диаграмм рабочих тел (фреонов). Ниже приводится компьютерная модель исследования функционирования основных узлов теплового насоса.

Моделирование термодинамического регенеративного цикла парокомпрессорного ТН на основе методики, приведенной на сайте <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/TTMI>.

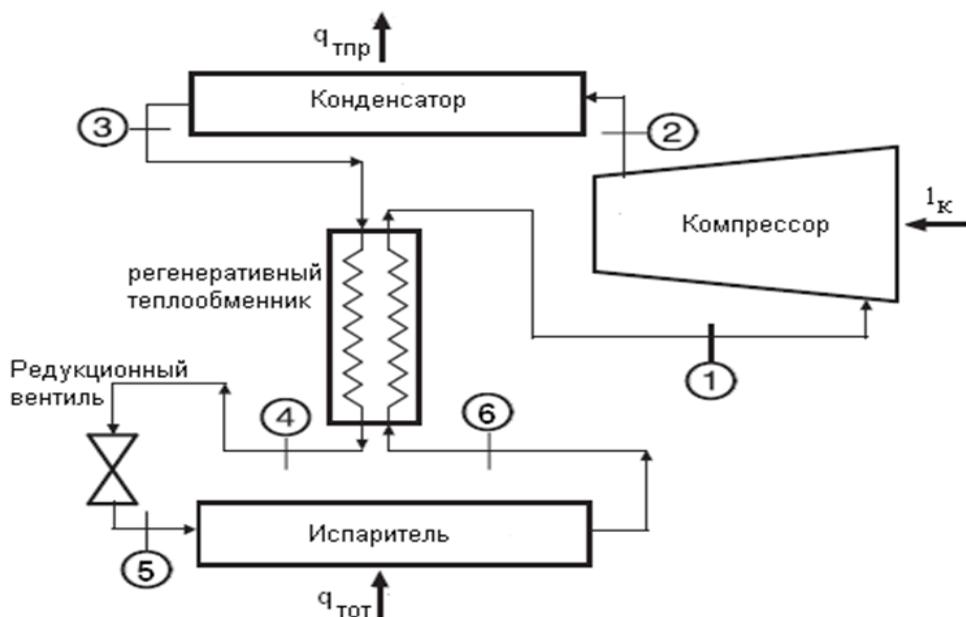


Рис. 1 – Физическая модель регенеративного парокомпрессионного ТН

Исходные данные термодинамического расчета:

Температура теплоотдатчика на выходе из испарителя: $t_{\text{исп_вых}} = 0^\circ\text{C}$

Температура тепlopриемника на выходе из конденсатора: $t_{\text{кон_вых}} = 60^\circ\text{C}$

Температурный напор на холодном конце испарителя: $\delta t_{\text{исп_х}} = 3 \text{ K}$

Температурный напор на горячем конце конденсатора: $\delta t_{\text{кон_г}} = 3 \text{ K}$

Температурный напор на горячем конце регенератора: $\delta t_{\text{р_г}} = 3 \text{ K}$

Внутренний относительный КПД компрессора: $\eta_{0i_k} = 82 \%$

Потери давления в конденсаторе: $\delta p_{\text{кон}} = 3 \%$

Потери давления в испарителе: $\delta p_{\text{исп}} = 3 \%$

Потери давления в регенераторе со стороны холодного теплоносителя: $\delta p_{\text{р_х}} = 3 \%$

Потери давления в регенераторе со стороны горячего теплоносителя: $\delta p_{\text{р_г}} = 3 \%$

Тип фреона: R600a

Давление фреона на выходе из конденсатора $p_3 := RPST(t_{кон_вых} + \delta t_{кон_г}) = 0.931 \text{ MPa}$
 Температура фреона на выходе из конденсатора $t_3 := RTSLP(p_3) = 63^\circ\text{C}$
 Энтальпия фреона на выходе из конденсатора $h_3 := RHSLT(t_3) = 356.805 \text{ kJ/kg}$
 Энтропия фреона на выходе из конденсатора $s_3 := RSSLT(t_3) = 1.5103 \text{ kJ/(kg K)}$
 Давление фреона на входе в регенератор $p_6 := RPSVT(t_{исп_вых} - \delta t_{исп_x}) = 0.141 \text{ MPa}$
 Температура фреона на входе в регенератор $t_6 := RTSVP(p_6) = -3^\circ\text{C}$
 Энтальпия фреона на входе в регенератор $h_6 := RHSVT(t_6) = 550.31 \text{ kJ/kg}$
 Энтропия фреона на входе в регенератор $s_6 := RSSVT(t_6) = 2.297 \text{ kJ/(kg K)}$
 Температура фреона на входе в компрессор $t_1 := t_3 - \delta t_{p_г} = 60^\circ\text{C}$
 Давление фреона на входе в компрессор $p_1 := p_6 \cdot (1 - \delta p_{p_x}) = 0.137 \text{ MPa}$
 Энтальпия фреона на входе в компрессор $h_1 := RHPT(p_1, t_1) = 658.94 \text{ kJ/kg}$
 Энтропия фреона на входе в компрессор $s_1 := RSPT(p_1, t_1) = 2.6617 \text{ kJ/(kg K)}$

$$p_2 := \frac{p_3}{1 - \delta p_{кон}} = 0.96 \text{ MPa}$$

Давление фреона на выходе из компрессора
 Энтропия фреона на выходе из компрессора при изоэнтропийном сжатии
 $s_{2_из} := s_1 = 2.662 \text{ kJ/(kg K)}$
 Температура фреона на выходе из компрессора при изоэнтропийном сжатии
 $t_{2_из} := RTPS(p_2, s_{2_из}) = 116.84^\circ\text{C}$
 Энтальпия фреона на выходе из компрессора при изоэнтропийном сжатии
 $h_{2_из} := RHPT(p_2, t_{2_из}) = 753.551 \text{ kJ/kg}$

$$l_k := \frac{h_{2_из} - h_1}{T_0 i_k} = 115 \text{ kJ/kg}$$

Удельный теплоперепад в компрессоре при сжатии
 $h_2 := h_1 + l_k = 774.32 \text{ kJ/kg}$
 Температура фреона на выходе из компрессора при сжатии $t_2 := RTPH(p_2, h_2) = 126.079^\circ\text{C}$
 Энтропия фреона на выходе из компрессора $s_2 := RSPT(p_2, t_2) = 2.714 \text{ kJ/(kg K)}$
 Давление фреона на входе в редукционный вентиль $p_4 := p_3 \cdot (1 - \delta p_{p_г}) = 0.9 \text{ MPa}$
 Энтальпия фреона на входе в редукционный вентиль $h_4 := h_3 - (h_1 - h_6) = 248.18 \text{ kJ/kg}$
 Температура фреона на входе в редукционный вентиль $t_4 := RTPH(p_4, h_4) = 20.387^\circ\text{C}$
 Энтропия фреона на входе в редукционный вентиль $s_4 := RSPT(p_4, t_4) = 1.1655 \text{ kJ/(kg K)}$

$$p_5 := \frac{p_6}{1 - \delta p_{исп}} = 0.145 \text{ MPa}$$

Давление фреона на входе в испаритель
 Степень сухости фреона на входе в испаритель
 $x_5 := \frac{h_5 - RHSLT(RTSLP(p_5))}{RHSVT(RTSVP(p_5)) - RHSLT(RTSLP(p_5))} = 0.149$
 Температура фреона на входе в испаритель
 $t_5 := RTSLP(p_5) + x_5 \cdot (RTSVP(p_5) - RTSLP(p_5)) = -2.2^\circ\text{C}$
 Удельное количество теплоты, отдаваемое теплоприемнику $q_{тпр} := h_2 - h_3 = 417.514 \text{ kJ/kg}$
 $COP_{TH} := \frac{q_{тпр}}{l_k} = 3.619$
 Коэффициент преобразования цикла теплового насоса

Рис.2 – Алгоритм моделирования термодинамического цикла ТН

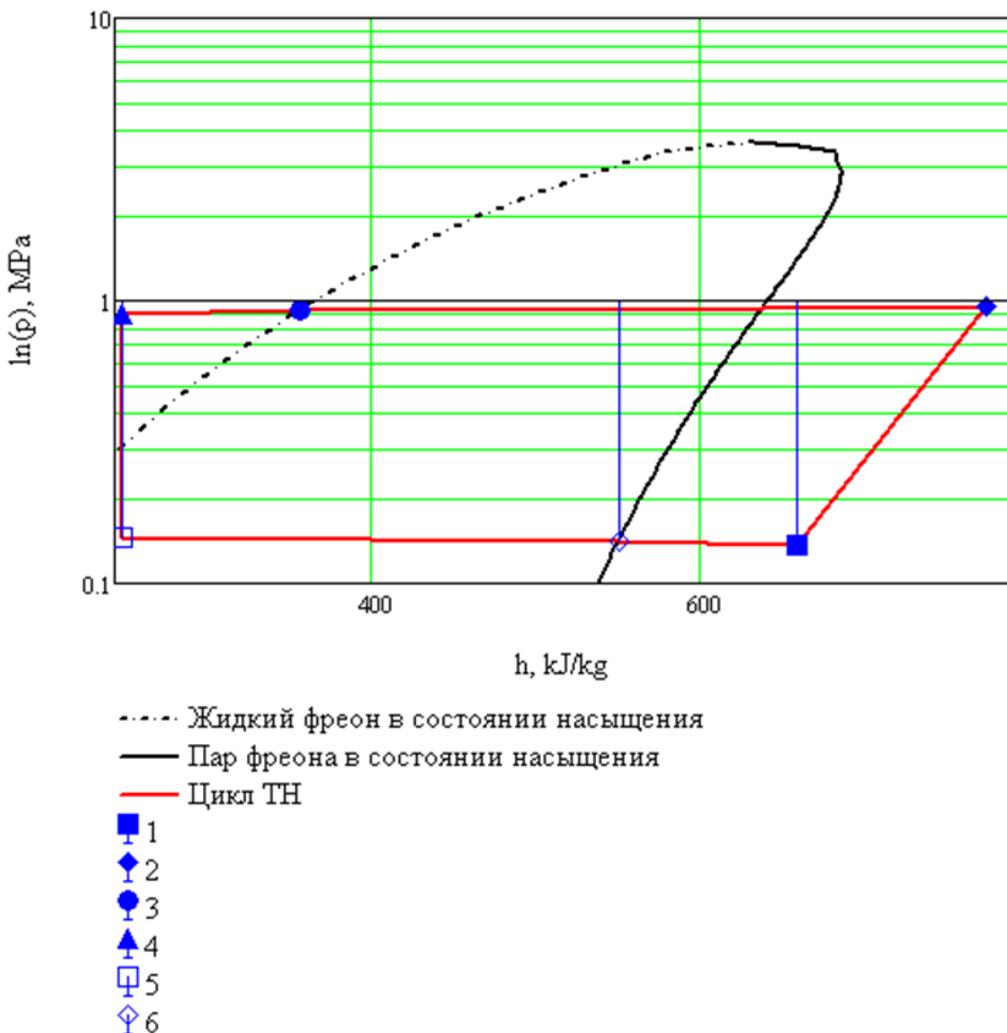


Рис. 3 – Диаграмма термодинамического цикла ТН

Из проведенного исследования важными для нас являются практически все параметры термодинамического цикла, так как последние годы на кафедре «Сервисный инжиниринг» РГУТИС проводятся исследования по разработке структурных решений гибких систем отопления на основе тепловых насосов и технологии их обслуживания. И эти параметры находят применение в при прогнозировании целого ряда бытовых ТНУ. При этом исходим из условий, что системы отопления и ГВС является гибким в пределах определенных групп потребителей. Из данного определения следует, что гибкие системы отопления и ГВС максимально эффективны в пределах определенных структурных решениях. Хотя четкие границы между группами гибких систем отопления и ГВС провести сложно.

Так при однотипном ассортименте теплонасосных установок можно добиваться высокой производительности их обслуживания, выраженной в плановом количестве в смену. Система отопления и ГВС в этом случае обладает невысоким уровнем гибкости. Это может быть типовая одноступенчатая ТНУ из стандартных комплектующих узлов, с достаточно высокой унификацией и технологичностью в обслуживании. В случае применения двух и более ступеней в ТНУ, с помощью которых будет предусмотрено обслуживание отопления и ГВС различных по площади и назначению помещений, сложность проводимых работ по обслуживанию возрастает. В этом случае производительность по обслуживанию, естественно, несколько снизится, но гибкость, которая на современном этапе развития производства приоритетна, повышается, обеспечивает эффективность применения таких систем ТНУ. Тоже можно сказать и каскадных ТНУ, конструктивная сложность которых значительно выше одноступенчатых ТНУ из стандартных комплектующих.

Результаты проведенного исследования позволяют судить, что хладагент изобутан R600a, обладая хорошими исходными характеристиками, отмеченными выше, показывает достаточно высокими параметрами работоспособности, что важно особенно для бытовых ТНУ, так как они не должны отличаться сложностью структуры и обслуживания. Показано, что температура отопительной воды может быть 60 и больше градусов, что соответствует запросам потребителей и требованиям санитарных норм. При этом высоким остается и коэффициент преобразования энергии цикла 3,619, и он расположен значительно выше критической точки. Определены все основные параметры термодинамического цикла данного фреона (температура, давление, энтальпия, энтропия и др.) в зонах движения его по участкам физической модели ТН. Полученные параметры могут стать основой метода подобия при прогнозировании и моделировании аналогичных систем отопления, построенных на базе бытовых тепловых насосов [4], [5].

Список литературы / References

1. Филиппов С.П. Малая энергетика в России / С.П. Филиппов // Теплоэнергетика. – 2009. – №8. – С. 38–42.
2. Сучилин В.А. Принцип модульности теплонососных установок / В.А. Сучилин, А.С. Кочетков, Н.Н. Губанов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 8 (50) – Часть 3. – С. 93-95.
3. Сучилин В. А. Гибкие системы отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов / В.А. Сучилин, А.С. Кочетков, С. А. Голиков // ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал – 2016. – № 1(22) – Часть 2. – С. 133-136.
4. Сучилин В.А., Кочетков А.С. Система отопления и горячего водоснабжения помещений. Заявка на изобретение – МПК F25B30/02. Регистрация в ФИПС - №2016104802 от 12.02.2016.
5. Сучилин В.А., Губанов Н.Н., Кочетков А.С. Каскадная теплонососная установка. Заявка на изобретение – МПК F25B30/02. Регистрация в ФИПС - №2016122646 от 08.06.2016.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Filippov S.P. Malaya ehnergetika v Rossii Filippov S.P. [Small power in Russia] / S.P. Filippov // Teploehnergetika [Heat energy]. – 2009. – №8. – P. 38-42. [in Russian]
2. Suchilin V.A. Printsip modul'nosti teplonasosnyh ustanovok [The principle of modular heat pump systems] / V.A. Suchilin, A.S. Kochetkov, N.N. Gubanov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2016. – № 8 (50) – Part 3 – P. 93-95. [in Russian]
3. Suchilin V.A. Gibkie sistemy otopleniya i goryachego vodosnabzheniya na osnove teplovyyh nasosov [Flexible heating system and hot water through heat pumps] / V.A. Suchilin, A.S. Kochetkov, S.A. Golikov // EVRAZISKIY SOYUZ UCHENYH (ESU) Ezhemesyachnyj nauchnyj zhurnal [SCIENTISTS EURASIAN UNION (SEU) The monthly scientific journal]. – 2016. – № 1 (22) – Part 2 – P. 133-136. [in Russian]
4. Suchilin V.A., Kochetkov A.S. Sistema otopleniya i goryachego vodosnabzheniya pomeshchenij. Zayavka na izobretenie [Heating and hot water facilities. An application for an invention] – IPC F25B30/02. Registration FIPS №2016104802 on 12.02.2016. [in Russian]
5. Suchilin V.A., Gubanov N.N., Kochetkov A.S. Kaskadnaya teplonasosnaya ustanovka. Zayavka na izobretenie [The cascade heat pump system. An application for an invention] – IPC F25B30/02. Registration FIPS №2016122646 on 06.08.2016. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.066

Торопова Ю.В.¹, Мулюкина Л.С.², Ефремова О.А.³

^{1,2}Магистрант,

³кандидат технических наук, Доцент,

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ)

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ В СФЕРЕ ОХРАНЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ПОРЯДКА И ЗАЩИТЫ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аннотация

Проведен системный анализ деятельности региональных органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от чрезвычайных ситуаций. В ходе исследования были рассмотрены основные функции и задачи органов исполнительной власти, отвечающих за охрану общественного порядка и защиту населения от чрезвычайных ситуаций (ЧС). Результатами проведенного исследования стали организационно-функциональная структура органов исполнительной власти Республики Башкортостан, функциональная модель деятельности органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС, а также обобщенная структура информационной модели процесса охраны общественного порядка и защиты от ЧС.

Ключевые слова: системный анализ, программное обеспечение, органы исполнительной власти, охрана общественного порядка, чрезвычайные ситуации, пространственные данные.

Toropova Ju.V.¹, Muljukina L.S.², Efremova O.A.³

^{1,2}Undergraduate,

³PhD in Engineering, Associate Professor,
Ufa State Aviation Technical University

. SYSTEM PROBLEM ANALYSIS OF SPATIAL DATA USE IN THE SOFTWARE OF REGIONAL EXECUTIVE AUTHORITIES IN THE SPHERE OF PUBLIC ORDER MAINTENANCE AND FIRE AND DISASTER PREVENTION

Abstract

A system analysis of activities of regional executive authorities in the sphere of public order and protection from emergency situations is presented in the paper. The study describes the main functions and tasks of the executive authorities responsible for public order maintenance and fire and disaster protection. The result of the study is the organizational and functional structure of the executive authorities of the Republic of Bashkortostan, a functional model of executive authorities in the field of public order maintenance and fire and disaster protection, as well as the generalized structure of the information model of the process of public order maintenance and fire and disaster protection.

Keywords: system analysis, software, executive authorities, protection of public order, emergency situations, spatial data.

Bведение

Основным документом, определяющим права и свободы человека, является Конституция РФ [1]. Согласно ей, одной из важнейших задач органов исполнительной власти (ОИВ) является охрана общественного порядка и защита населения от чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Решение поставленных вопросов требует серьезной информационной поддержки. Информация, необходимая ОИВ для решения вопросов в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС, включает в себя данные о различных объектах, процессах и явлениях, а именно: объектах повышенной опасности, местах массового скопления людей, жилых и производственных объектах, инженерных коммуникациях, системах видеонаблюдения, криминогенных территориях и т.д. Значительная часть выше перечисленной информации имеет географическую привязку и характеризует конкретные территорииально распределенные объекты (здания, улицы, дороги, трубопроводы, маршруты патрулей, средства наблюдения).

Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций и обеспечение общественного порядка в регионе требуют качественной и быстрой обработки пространственных данных. Для того, чтобы этот процесс протекал наиболее эффективно, необходимо обеспечить полное взаимодействие каждого из ОИВ между собой.

Организовать такого рода взаимодействие призвано специализированное программное обеспечение. Так, например, в Республике Башкортостан созданы и широко используются система межведомственного электронного документооборота, система межведомственного электронного взаимодействия, единая инфраструктура электронного правительства, система межведомственных запросов и оказания государственных и муниципальных услуг Республики Башкортостан и т.д. Несмотря на все многообразие программного обеспечения, вопросы использования пространственных данных в нем рассмотрены недостаточно [2].

Таким образом, основной целью исследования является системный анализ проблемы использования пространственных данных в программном обеспечении региональных органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от чрезвычайных ситуаций.

В рамках исследования необходимо:

1. Провести анализ структуры органов исполнительной власти региона (на примере Республики Башкортостан).
2. Провести анализ функций и задач ОИВ региона в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС.
3. Определить круг задач, требующих для своего решения обработки пространственных данных.
4. Осуществить формализацию задач в виде функциональных и информационных моделей.

Анализ структуры органов исполнительной власти (на примере Республики Башкортостан)

Согласно статье 77 Конституции РФ [1], система ОИВ Республики Башкортостан (РБ) устанавливается субъектом РФ самостоятельно в соответствии с основами конституционного строя РФ и общими принципами организации представительных и исполнительных органов государственной власти, установленными федеральным законом.

ОИВ РБ включает 12 министерств, 6 ведомств, 9 государственных комитетов, 3 государственных и общественных организаций, 1 представительство и 28 территориальных органов федеральных органов исполнительной власти.

Организационно-функциональная структура ОИВ РБ представлена на рисунке 1.

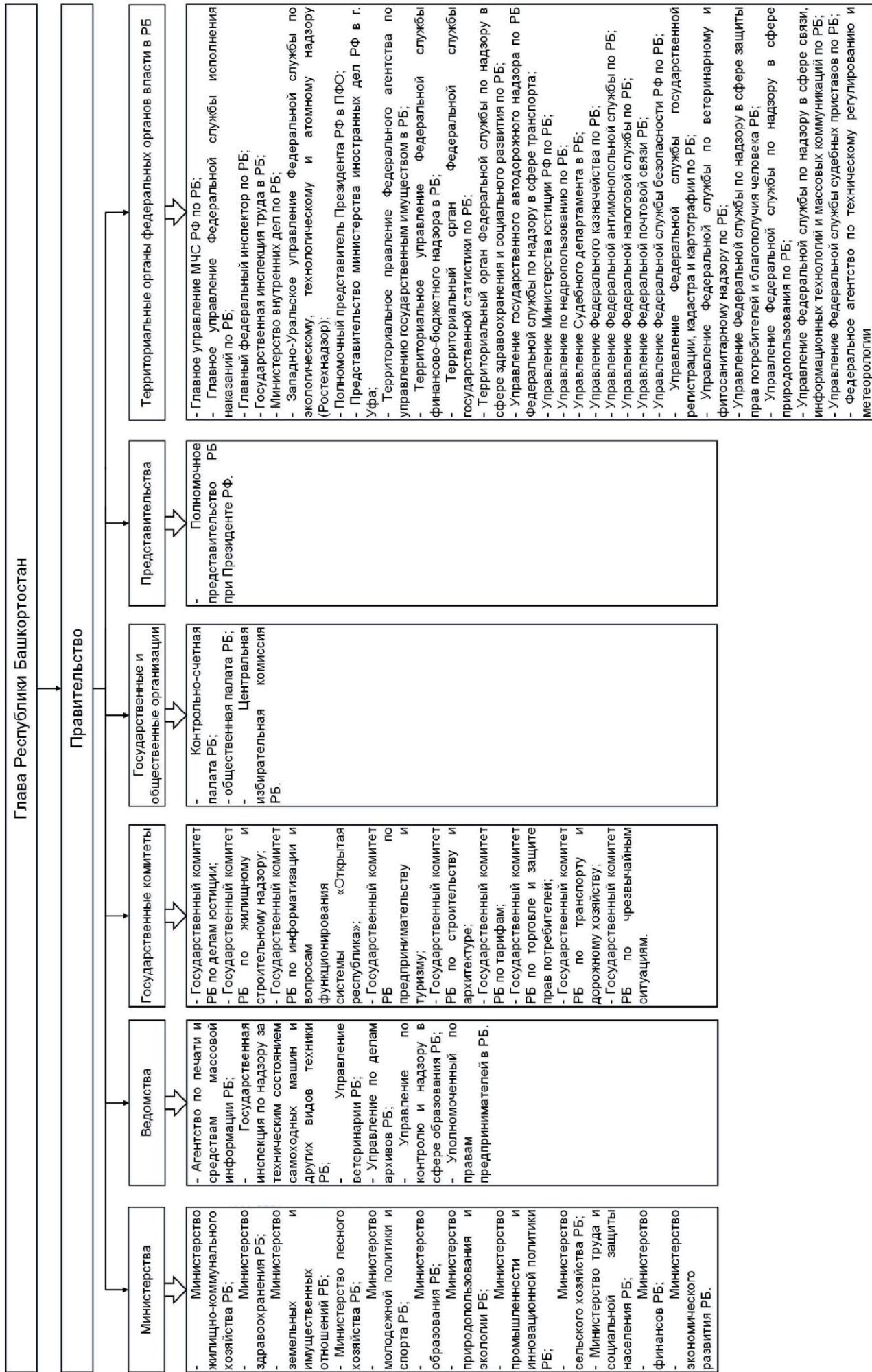


Рис. 2 – Организационно функциональная структура органов исполнительной власти Республики Башкортостан

Решением задач по охране общественного порядка и защиты населения от ЧС в регионе занимаются Министерство внутренних дел по РБ (МВД по РБ) и Главное управление Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Республике Башкортостан (ГУ МЧС по РБ).

Анализ функций и задач ОИВ региона в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС

На рисунке 2 представлена функциональная модель деятельности органов государственной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от чрезвычайных ситуаций.

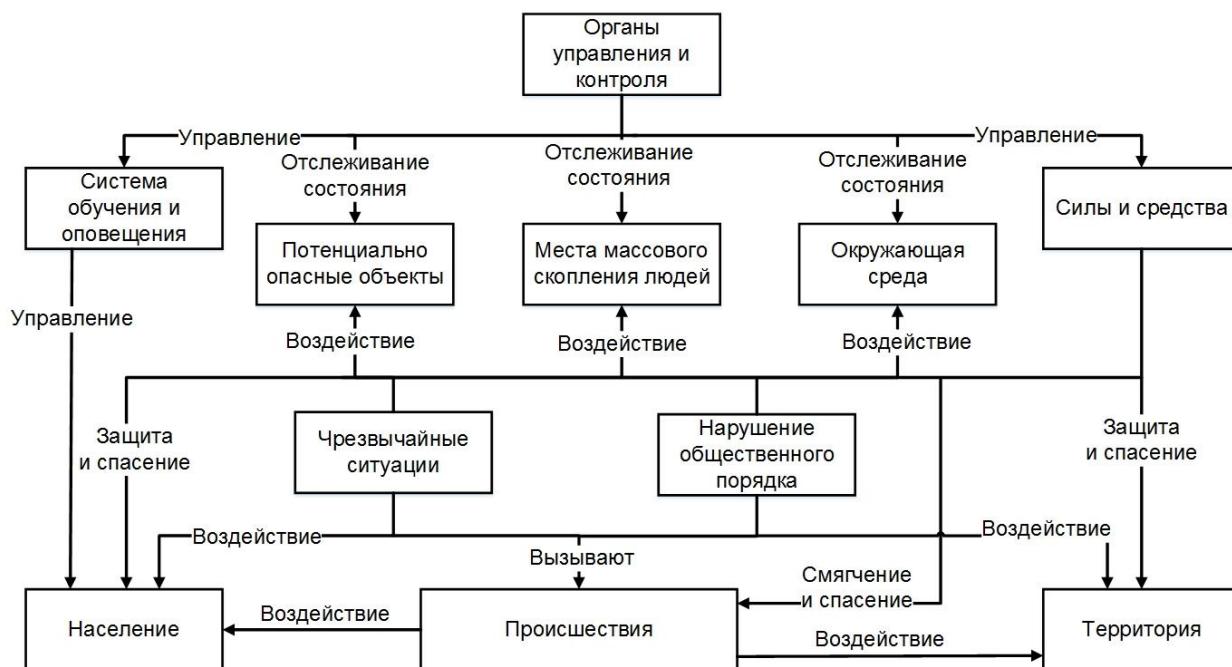


Рис. 2 – Функциональная модель деятельности органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от чрезвычайных ситуаций

Министерство внутренних дел по Республике Башкортостан (МВД по РБ) – это федеральный орган исполнительной власти, который выполняет административно-распорядительные функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере обеспечения общественного порядка [3].

К основным функциям и задачам МВД по РБ относятся следующие [4]:

- защита прав и свобод человека;
- предупреждение нарушений общественного порядка;
- оперативно-розыскная деятельность;
- розыск скрывающихся лиц;
- борьба с организованной преступностью;
- охрана важных государственных объектов;
- выдача лицензий;
- сбор, обработка и хранение оперативно-справочной, розыскной, криминалистической и статистической информации;
- обеспечение справочной информацией заинтересованных органов.

ГУ МЧС РФ по РБ – федеральный орган исполнительной власти, проводящий государственную политику и осуществляющий управление в области гражданской обороны, защиты населения и территории от ЧС природного и техногенного характера, обеспечения пожарной безопасности [5].

К основным задачам и функциям ГУ МЧС РФ по РБ относятся [6]:

- гражданская оборона;
- предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций;
- обеспечение пожарной безопасности;
- обеспечение безопасности на воде;
- разработка проектов нормативных актов;
- координация ОИВ РБ в режиме ЧС;
- обеспечение оповещения населения в режиме ЧС;
- сбор, обработка и хранение информации в области гражданской обороны и защиты населения от ЧС;
- обеспечение справочной информацией заинтересованных органов.

Одной из основных функций, реализуемых ГУ МЧС РФ по РБ, является защита населения от ЧС.

Круг задач, требующих для своего решения обработки пространственных данных

Для выполнения всех вышеперечисленных функций МВД по РБ и ГУ МЧС РФ по РБ должны обеспечить решение целого круга задач. Среди них есть те, которые требуют обработки пространственных данных. Примерами таких задач для МВД по РБ являются [7]:

- отображение сведений о расположении места происшествия;
- определение ближайшей к месту происшествия патрульной машины;
- построение зон видимости камер видеонаблюдения;
- определение оптимального расположения постов;
- анализ криминогенной обстановки;
- оперативно-стратегическое планирование.

Для ГУ МЧС РФ по РБ примерами таких задач, требующих при своем решении обработки пространственных данных, являются [8]:

- моделирование последствий разливов нефти;
- прогнозирование паводковой ситуации;
- оперативный мониторинг природных пожаров;
- отслеживание состояния территории и объектов в местах возникновения техногенных и природных ЧС;
- моделирование последствий природных пожаров;
- отслеживание состояния природной среды и загрязнений и т.п.

Формализация функций и задач ОИВ региона в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС в виде функциональных и информационных моделей.

Как видно из сказанного выше, деятельность подразделений МВД по РБ и ГУ МЧС РФ по РБ осуществляется на основе обработки больших объемов информации, значительная часть из которой имеет пространственный характер. Так можно выделить электронные карты и планы различного масштаба и тематического содержания, включающие информацию о [7]:

- городской инфраструктуре;
- криминогенной обстановке;
- местах размещения и маршрутах выдвижения сил и средств отделов полиции города и служб быстрого реагирования;
- зонирование территории города по различным показателям преступности и обеспечения общественной безопасности;
- демографической ситуации;
- размещение спецсредств (контроля, наблюдения и управления);
- аэро и космоснимки отдельных объектов и территории.

На основе определенного перечня пространственной информации, используемой в программном обеспечении региональных органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС, была построена обобщенная структура информационной модели процесса охраны общественного порядка и защиты от ЧС (рис. 3).

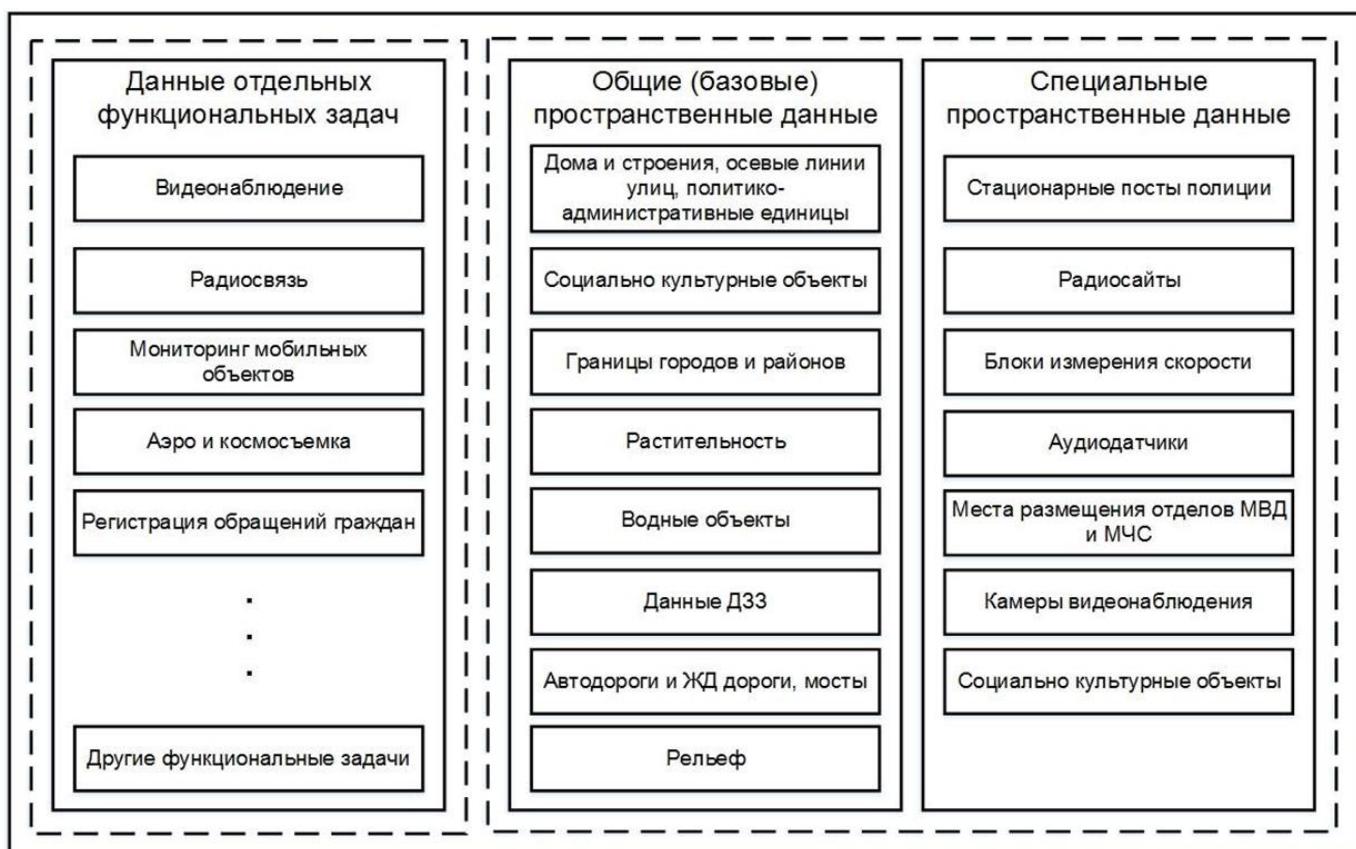


Рис. 3 – Обобщенная структура информационной модели процесса охраны общественного порядка и защиты от чрезвычайных ситуаций

Заключение

В рамках данной статьи был проведен системный анализ деятельности региональных органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты населения от ЧС. В своей деятельности ОИВ использует большие объемы информации, основная часть которой является географически привязанной к конкретным объектам на карте. Потенциально опасные объекты, места массового скопления людей, жилые и производственные объекты, инженерные коммуникации и многое другое – все это очень важная пространственная информация, позволяющая ОИВ РБ принимать правильные решения и своевременные действия по обеспечению личной безопасности граждан. В ходе исследования были выделены основные группы задач по обработке пространственных данных этими ведомствами. Результатом проведенного исследования стало построение организационно-функциональной структуры органов исполнительной власти республики и обобщенной информационной моделей деятельности МВД по РБ и ГУ МЧС РФ по РБ. Системный анализ показал, что крайне важно создать программное обеспечение региональных органов исполнительной власти в сфере охраны общественного порядка и защиты от ЧС, позволяющее осуществлять обработку пространственных данных. Это позволит повысить скорость и качество обработки информации, что в свою очередь повлечет повышение эффективности работы ОИВ.

Список литературы / References

1. Российская Федерация. Конституция (1993). Конституция Российской Федерации : офиц. текст. – М. : Маркетинг, 2001. – 39 с.
2. Павлов С. В. Информационная поддержка принятия решений по управлению регионом на основе технологии интеграции трехмерных моделей потенциально опасных объектов с геоинформационной системой органов исполнительной власти / С. В. Павлов, О. А. Ефремова, А. В. Соколова. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12 (54). Часть 3. – С. 165-167. doi: 10.18454/IRJ.2016.54.141
3. Российская Федерация. Указ президента РФ. Об утверждении Положения о министерстве внутренних дел Российской Федерации и Типового положения о территориальном органе Министерства внутренних дел Российской Федерации по субъекту Российской Федерации : [21 декабря 2016г.]
4. Официальный сайт Министерства внутренних дел РФ [электронный ресурс] / URL: <https://xn--b1aew.xn--p1ai/> (дата обращения: 28.12.2016).
5. Российская Федерация. Указ президента РФ. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : [ред. от 31.12.2015г.]
6. Официальный сайт Министерства чрезвычайных ситуаций РФ [электронный ресурс] / URL: <http://www.mchs.gov.ru/> (дата обращения 27.12.2016).
7. Валеев Р. А. Геоинформационные технологии и информационная поддержка деятельности городских органов внутренних дел: опыт Республики Башкортостан : монография / Р. А. Валеев, О. А. Ефремова, В. Г. Крымский и др. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 295 с.;
8. Овсянников А. В. Использование современных информационно-телекоммуникационных технологий в деятельности НЦУКС / А. В. Овсянников. // Информационные технологии, связь и защиты информации правоохранительных органов. – 2015. – Часть 2. – С. 22-25.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rossijskaja Federacija. Konstitucija (1993). Konstitucija Rossijskoj Federacii [Russian Federation. Constitution (1993). Constitution of the Russian Federation] : official text. – M. : Marketing, 2001. – 39 p. [in Russian]
2. Pavlov S. V. Informacionnaja podderzhka prinijatija reshenij po upravleniju regionom na osnove tehnologii integracii trehmernyh modelej potencial'no opasnyh ob#ektov s geoinformacionnoj sistemoj organov ispolnitel'noj vlasti [Information decision support of region management on the basis of integration technology of potentially dangerous objects three-dimensional models with geographic information system of the executive agencies] / S. V. Pavlov, O. A. Efremova, A. V. Sokolova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. [International Research Journal] – 2016. – № 12 (54). – Part 3. – P. 165-167. [in Russian]
3. Rossijskaja Federacija. Ukaz Prezidenta RF. Ob utverzhdenii Polozhenija o ministerstve vnutrennih del Rossijskoj Federacii i Tipovogo polozhenija o territorial'nom organe Ministerstva vnutrennih del Rossijskoj Federacii po sub#ektu Rossijskoj Federacii [Russian Federation. Presidential Decree. About approval of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation and the Model Regulations of the territorial body of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation on the subject of the Russian Federation] : [21 December 2016] [in Russian]
4. Oficial'nyj sajt Ministerstva vnutrennih del RF [The official website of the Ministry of Internal Affairs of the RF] [Electronic resource] // URL: <https://xn--b1aew.xn--p1ai/> (accessed: 28.12.2016) [in Russian]
5. Rossijskaja Federacija. Ukaz Prezidenta RF. Voprosy Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij [Russian Federation. Presidential Decree. Questions of the Russian Federation Ministry of Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters] : [ed. of 31.12.2015] [in Russian]
6. Oficial'nyj sajt Ministerstva chrezvychajnyh situacij RF. [The official website of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation] [Electronic resource] // URL: <http://www.mchs.gov.ru/> (accessed 27.12.2016) [in Russian]
7. Valeev R. A. Geoinformacionnye tehnologii i informacionnaja podderzhka dejatel'nosti gorodskikh organov vnutrennih del: opyt Respubliki Bashkortostan : monografija [Geoinformation technology and information support of the activities of the city internal affairs agencies: the experience of the Republic of Bashkortostan: monograph] / R. A. Valeev, O. A. Efremova, V. G. Krymskij and others – Ufa: UGATU, 2013. – 295 p. [in Russian]
8. Ovsjannikov A. V. Ispol'zovanie sovremennoy informacionno-telekommunikacionnyh tehnologij v dejatel'nosti NCUKS [The use of modern information and telecommunication technologies in the activities of National Emergency Management Center] / A. V. Ovsjannikov. // Informacionnye tehnologii, svjaz' i zashchity informacii pravoohranitel'nyh organov. [Information technology, communications and information protection law enforcement]. – 2015. – Part 2. – P. 22-25. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.100

Удалова Н.П.¹ Коликов К.С.², Ельчанинов Е.А.³

¹ORCID:0000-0002-3996-7695, Старший преподаватель,

²ORCID: 0000-0001-8831-1927, Доктор технических наук,

³ORCID: 0000-0003-4155-3130, Доктор технических наук,

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО ШАХТНОГО МЕТАНА

Annotation

Рассмотрены основные направления использования некондиционного шахтного метана для получения тепловой энергии. Предложены основные направления применения низкоконцентрированных метановоздушных смесей с использованием серийно выпускаемого оборудования. Предложен способ совместного сжигания отходов углеобогащения с низкоконцентрированной метановоздушной смесью с использованием котла ДКВР-6,5/13 и газомазутных горелок. Представлены сравнительные данные расчетов выбросов загрязняющих веществ при сжигании угля и при совместном сжигании угля и газа.

Ключевые слова: метан, метановоздушные смеси, низкоконцентрированные, дегазация, установки непосредственного сжигания, отходы углеобогащения, тепловая энергия, совместное сжигание.

Udalova N.P.¹, Kolikov K.S.², Elchaninov E.A.³

¹ORCID: 0000-0002-3996-7695, Senior lecturer,

²ORCID: 0000-0001-8831-1927, PhD in Engineering,

³ORCID: 0000-0003-4155-3130, PhD in Engineering,

National research technological University «MISiS», Mining institute

USE OF UNCONDITIONED COALMINE METHANE

Annotation

The paper describes the directions of use of unconditioned coalmine methane to produce heat energy. The main directions of usage of low-concentration methane-air mixtures with the help of commercially available equipment are proposed. Authors proposed the method of co-combustion of waste coal with low-concentration methane methane-air mixture using boiler-DKVR 6.5/13 and the oil-gas burner. The comparative data of emission calculations from coal combustion and co-combustion of coal and gas are presented as well.

Keywords: methane, a methane-air mixture, low concentration, decontamination, installation of direct combustion, waste coal, thermal energy, co-combustion.

Извлечение метана угольных месторождений позволяет решить одновременно несколько задач: использовать метан для выработки электроэнергии, тепла или химических продуктов; уменьшить выбросы метана в атмосферу; снизить объем выделения метана в горные выработки и, тем самым, повысить безопасность и эффективность добычи угля [1, 232].

Указ Президента Российской Федерации №752 от 30.09.2013 г. конкретизирует Климатическую доктрину РФ (распоряжение Президента Российской Федерации № 861-рп 17.12.09 г.) и требует обеспечить к 2020 году сокращение объема выбросов парниковых газов до уровня ≤ 75 % объема указанных выбросов в 1990 г. При разработке угольных месторождений средствами вентиляции и дегазации в нашей стране удаляется около 2 млрд.м³ метана, являющегося вторым по значимости парниковым газом. При этом утилизируется менее 10% извлекаемого метана. Основная часть метана (около 65%) удаляется средствами вентиляции. Так в 2012 г. дегазацией извлечено около 23,5% метана, на газоотсос приходится чуть более 13%. Следует отметить, что значительный объем этих метановоздушных смесей имеет некондиционную концентрацию метана (менее 25%). Поэтому вопрос его использования представляет значительный практический интерес.

Для использования некондиционного шахтного метана возможно применить технологическую схему по подготовке метановоздушной смеси (МВС) безопасной концентрации до 2,5% на газоподготовительной станции ГПС [2,34]. Суть безопасного метода заключается в том, что в воздушный поток подается газ дегазации, что обеспечивает снижение концентрации метана до 2,5%. Использование МВС в качестве дутья (подслоевое сжигание) уменьшает расход угля.

При применении низкоконцентрированных МВС (НК МВС) до 2,5% для получения тепловой энергии можно выделить три направления:

1) Использование для дутья при слоевом сжигании угля в топках паровых и водогрейных котлов;

2) Использование НК МВС в качестве основного вида топлива в установках непосредственного сжигания для получения тепла;

3) Использование совместного сжигания отходов углеобогащения с НК МВС с целью получения тепла и сырья для строительной индустрии и закладки.

Использование НК МВС в качестве дутья для топок котлов позволяет сжигать уголь с повышенной зольностью (до 60%), улучшить качество сгорания угля, существенно снизить потери от химической и механической неполноты сгорания, повысить теплопроизводительность котла.

Проведенные исследования показали, что обогащенное метаном дутье с концентрацией 1,5 – 1,9% повышает К.П.Д. котла на 25 – 41%, за счет снижения потери тепла с химическим и механическим недожогом, повышает паропроизводительность котла на 25 – 40% и высвобождает до 35 – 40% угля [3,151]. Горение в топке котла получается полным при более высокой температуре, а выбросы дымовых газов в атмосферу становится экологически более чистым.

В установке непосредственного сжигания (УНС) НК МВС могут быть использованы в качестве основного топлива. Суть метода заключается в том, что для того, чтобы НК МВС можно было сжечь, ее необходимо подогреть до определенной температуры.

УНС состоит из двух элементов: теплообменника и камеры горения.

В теплообменнике происходит нагрев МВС приблизительно до 400 °C продуктами сгорания. В камере горения, состоящей из двух труб, происходит противоточный догрев МВС до: состояния воспламенения, собственно горения и подачи продуктов сгорания в теплообменник, где отбирается около 40% химической энергии метана. Остальные 60% энергии с температурой 500-600 °C могут быть использованы для любых технологических нужд шахты в непосредственных теплообменных устройствах, либо в серийно выпускаемых котлах – утилизаторах для получения пара или перегретой воды.

УНС компактна по габаритам, не требует больших капитальных затрат, как это имеет место при строительстве котельной, может быть передвижной, мобильной. УНС не металлоемка и не энергоемка. Недостатком УНС является то, что сама камера горения изготавливается из жаропрочной легированной стали.

Получение тепла и сырья для стройиндустрии в установке совместного сжигания отходов углеобогащения и НК МВС (УСЖ). Известно, что отходы углеобогащения (флотационные хвосты, шламы и др.), органическая часть которых составляет до 30%, при воздушном дутье не горят. Суть способа совместного сжигания отходов с НК МВС состоит в том, что в зависимости от количества органической части отходов и температуры плавления золы подается определенная концентрация МВС, заданная автоматически на ГПС. В специально сконструированное топочное устройство сверху подаются отходы, которые сжигаются в низкотемпературном кипящем слое при дутье, обогащенном метаном.

Из всех существующих технических решений совместного сжигания наиболее эффективным является совместное сжигание угля и метана с подачей газа через боковые щелевые форсунки.

Рабочим проектом предусмотрен развод радиационного экрана, в области завершения тракта горения угля, через который в топку вводятся щелевые горелки. Через форсунки подается метановоздушная смесь, которая в сечении исхода горения угля отсекает в дымовой струе недожог угеля. Из всех существующих технических решений совместного сжигания наиболее эффективным является последний, т.е. ввод смеси через форсунки.

Предлагается промышленная эксплуатация технологии на котле ДКВР-6,5/13 с применением газомазутных горелок типа ГМГ-4,5 (рисунок 1.). Технология, как выше отмечалось, не имеет аналогов за рубежом. Новизна ее заключается в том, что серийные горелки монтируются на боковых стенках котлов с предварительной разводкой боковых радиационных экранов.

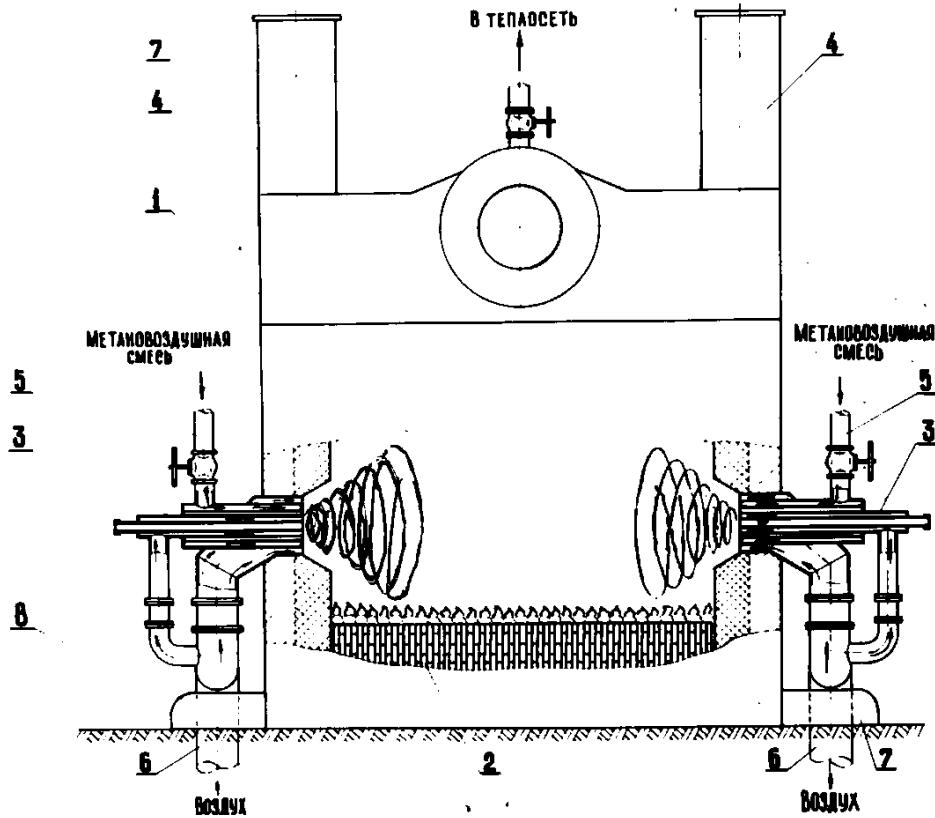


Рис. 1 – Опытно-промышленная установка:

- 1 – Топка котла ДКВР-6,5/13; 2 – Цепная решетка-ЛЦР; 3 – Горелка-ГМГ-4М; 4 – Взрывной клапан;
5 – газопровод метановоздушной смеси; 6 – воздуховод от дутьевого вентилятора; 7 – трубопровод;
8 – воздуховод для топки ПМЗ-ЛЦР

Технические характеристики:

1. Тип котла (Бийский котельный завод) - ДКВР-6,5/13
2. Тип горелки - ГМГ-4М

3. Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч - 4
 4. Расход твердого топлива, т/г -7630
 5. Расход топлива в год: угля – 3815 т, метана – 1,6 млн.м³
 6. Нормальный режим работы при совместном сжигании угля и метана по теплоте сгорания – 1:1
- Таким образом, эффективность от совместного сжигания угля и шахтного метана можно оценить как:
- а) экономический эффект от экономии угля, газа и от дополнительной реализации тепла полученного за счет повышения производительности котла;
 - б) экономический эффект от снижения вредных выбросов в атмосферу – летучей золы, угольной пыли, окислов серы, окиси углерода, окислов азота и метана.

В результате проведенной опытно-промышленной проверки в котельных шахты “Комсомольская” ОАО “Воркутауголь” на котле ДКВР-10/13 и шахты “Чертинская” ОАО “Беловуголь” на котле ДКВР-6,5/13 (КЕ), установлены следующие параметры улучшения работы котла за счет совместного сжигания метановоздушной смеси подаваемой в топку через форсунки:

- а) повышение производительности котла до 40% от номинала;
- б) снижение потребления угля на 40%;
- в) повышение к.п.д. котла на 19%.

г) снижение выбросов загрязняющих веществ более чем в два раза. В таблице 1 приведены сравнительные данные расчетов выбросов загрязняющих веществ при сжигании угля и при совместном сжигании угля и газа.

Таблица 1 – Количество выбросов загрязняющих веществ при работе котлоагрегата ДКВР-6,5/13 (КЕ-10)

Характеристика выбросов	Количество выбросов, т/год		
	при сжигании угля	при сжигании угля и метана	разность
Частицы летучей золы	200,00	24,00	176,00
Частицы угольной пыли (недожог)	160,00	96,00	64,00
Диоксид серы в пересчете на SO ₂	205,40	123,24	82,16
Оксид углерода	238,00	162,60	75,40
Окисиды азота	58,85	43,62	15,23

Таким образом можно говорить о высокой экологической эффективности данной технологии.

Список литературы/ References

1. Ельчанинов Е.А., Удалова Н.П. Эколого-технологическая оценка различных технологий использования метана не кондиционных МВС для промышленной утилизации// ГИАБ. 2011. Отдельный выпуск №8 «Экология, метанобезопасность» С. 231-248
2. Зозуля А.Д., Топтыгин М.И., Филиппов Г.А. Безопасное сжигание некондиционного шахтного метана // Безопасность труда в промышленности. –1987. -№12. –С.34-35.
3. Шмидт М.В. Снижение эмиссии парниковых газов при метанобезопасной разработке углеводородных месторождений с энергетическим использованием метана. Дисс. ... докт. техн. наук. : 25.00.36, 05.26.03 : защищена 29.06.06 : утверждена 15.11.06 / Шмидт Михаил Викторович Москва: МГГУ. 2005. 363 с.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. Elchaninov E. A., Udalova N. P. Ekologo-tehnologicheskaya otsenka razlichnyih tehnologiy ispolzovaniya metana ne konditsionnyih MVS dlya promyishlennoy utilizatsii [Environmental and technological assessment of various technologies for the use of methane of the standard MVS for industrial utilization]/ E.A. Elchaninov, N. P.Udalova GIAB. [mining information analytical Bulletin] 2011. Otdelnyiy vyipusk [Separate issue] No. 8 «Ekologiya, metanobezopasnost» ["Ecology, methane safety"] P. 231-248 [in Russian]
2. Zozulya, A. D., Toptygin, I. M., Filippov G. A. Bezopasnoe szhiganie nekonditsionnogo shahtnogo metana [the Safe combustion of low-quality mine methane] / A. D.Zozulya, I. M. Toptygin, , G. A Filippov // // Bezopasnost truda v promyishlennosti [labour Safety in industry]. -1987. - No. 12. –P. 34-35. [in Russian]
3. Schmidt M. V. Snizhenie emissii parnikovyih gazov pri metanobezopasnoy razrabotke uglegazovyih mestorozhdeniy s energeticheskim ispolzovaniem metana [Reduction of greenhouse gases in metan-air the development of coal-gas fields with energy use of methane]. Diss. ... of PhD in Engineering. 25.00.36, 05.26.03 : defense of the thesis 29.06.06 : approved 15/11.06 / Shmidt Mihail Viktorovich Moscow : Moscow state mining University, 2005. 352 P. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.124

Федосова А.Н.¹, Каледина М.В.², Андреева Д.Ю.³

¹Кандидат биологических наук,

² ORCID: 0000-0002-5835-996X, Кандидат технических наук,

³студент,

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЛКОВО-ЛИПИДНОЙ ФРАКЦИИ МОЛОКА, ПОЛУЧЕННОЙ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕМ ЯБЛОЧНЫМ ПЕКТИНОМ, В ТЕХНОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация

Рассмотрена возможность использования процесса фракционирования молочного сырья яблочным пектином отечественного производства для молока с регулируемой массовой долей жира. Установлено, что процесс наиболее эффективен при следующих параметрах: массовая доля пектина в смеси – 0,6% в пересчете на сухой пектин, температура смешивания раствора пектина и молочного сырья – 20-25 °C, температура фракционирования – 4-6 °C. Предложена технология производства сливочного белкового крема из белково-липидной фракции молока с включением в рецептуру натуральной зелени и соли или натурального пчелиного меда.

Ключевые слова: пектин, фракционирование, безмембранный осмос, белково-липидная фракция, сливочно-белковый крем.

Fedosova A.N.¹, Kaledina M.V.², Andreeva D.Yu.³

¹PhD in Biology, ²ORCID: 0000-0002-5835-996X, PhD in Engineering, ³student,

Belgorod state agricultural university of V. Ya. Gorin

USE OF PROTEIN AND LIPID FRACTIONS OF MILK OBTAINED BY THE FRACTIONATION OF APPLE PECTIN IN THE TECHNOLOGY OF DAIRY PRODUCTS

Abstract

The possibility to use the process of milk fractionation by apple pectin for milk with an adjustable mass fraction of fat are considered. It is established that the process is most effective under the following parameters: mass fraction of pectin in the mixture is 0.6% in calculated on the dry pectin, the temperature of the mixing solution of pectin and milk is 20-25 °C, the fractionation temperature is 4-6 °C. The technology of production of creamy protein cream from protein and lipid fractions of milk with the inclusion in the formulation of natural herbs and salt or natural honey are proposed.

Keywords: pectin, fractionation, membraneless osmosis, protein and lipid fraction, creamy protein cream.

Молочные продукты высокой биологической ценности и функциональными свойствами вызывают повышенный интерес не только среди ученых, но и у рядовых покупателей. В этой связи, научный интерес вызывает безмембранный способ фракционирования молочного сырья.

В основе процесса лежит физико-химическое явление: ограниченной термодинамической совместимости белков с полимерами и другими белками в растворе. При смешивании растворов белка и полисахарида наблюдается разделение фаз и образуется двухфазная система [1.С.194]. При вытеснении белка из той части объема системы, которая занята макромолекулами биополимера, происходит агрегация белка в нижней части емкости. При этом процессе раствор белка (казеина) концентрируется, а раствор полисахарида разбавляется сывороточной фракцией до тех пор, пока не сравняется осмотическое давление в этих растворах [2.С.24].

Описанный процесс применим не только к вторичному молочному сырью, но и к молоку различной жирности. В процессе концентрирования происходит самопроизвольное разделение системы на две фазы. Нижняя фракция в зависимости от сырья: обезжиренное молоко – концентрат натурального казеина (КНК), цельное или нормализованное молоко – белково-липидная фракция (БЛФ). В обоих случаях, верхняя фаза – сывороточно-полисахаридная фракция (СПФ).

По технологическим характеристикам КНК и БЛФ можно использовать в производстве традиционных пищевых продуктов, т.к. биологическая ценность фракций значительно выше. Они содержат основные компоненты молока в легкоусвояемой форме, поэтому их использование в пищевой промышленности в качестве источника полноценного натурального белка, эмульгатора и стабилизатора коллоидных систем весьма рационально [3.С.124].

Цель данной научной работы – разработать новый молочный концентрированный белковый продукт, используя для получения белкового концентрата способ фракционирования молока яблочным пектином.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что процесс разделения обезжиренного молока происходит в узкой зоне концентрации пектина в молоке (0,6...0,7%). Температура компонентов смешивания должна быть одинаковой и может колебаться в широком диапазоне от 4°C до 60°C. Поэтому в данной работе исследованы концентрации пектина в молоке: 0,4%, 0,6 и 0,8% в пересчете на сухой пектин, который вносили в молоко в виде 5%-го водного раствора, чтобы исследовать возможность фракционирования молока с нормируемой массовой долей жира.

Для исследования молоко с массовой долей жира 2,5% пастеризовали при температуре 85 °C без выдержки, охлаждали до 20-25 °C и смешивали с предварительно приготовленным 5%-ным раствором пектина такой же температуры. Объем приготовленных смесей составлял 100 см³. Затем разливали каждую смесь в количестве по 30 см³ в три ряда биологических пробирок и наблюдали эффективность фракционирования, измеряя высоту нижнего слоя – концентрата, который имеет ярко белый цвет. Из результатов трех повторностей выводили среднее значение конечного результата. Применительно к промышленным условиям полученную смесь фракционировали при температуре 4-6 °C. Полученный результат, фиксировали через 1 час.

Влияние концентрации пектина в смеси на эффективность фракционирования цельного молока яблочным пектином приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние концентрации пектина на эффективность фракционирования молока яблочным пектином

Показатель	Концентрация пектина в смеси с цельным молоком, %		
	0,4	0,6	0,8
Характеристика процесса фракционирования	Разделение слоев нечеткое, сыворотка мутная	Белый концентрированный раствор внизу. Эффективность фракционирования – 21,7% раствора БЛФ от общего объема смеси. Сыворотка прозрачная	Белый концентрированный раствор внизу. Эффективность фракционирования – 20 % раствора БЛФ от общего объема смеси. В СПФ присутствуют хлопья белка.

Из наблюдения следует, что концентрация пектина в цельном молоке должна быть такой же, как и в обезжиренном молоке, равная 0,6% в пересчете на сухой пектин.

При дальнейшей оценке количественной характеристики процесса было установлено, что практический выход БЛФ из молока жирностью ,5% составляет 20,3%. Физико-химические показатели полученного раствора БЛФ в сравнении с молоком приводятся в таблице 2.

Физико-химические показатели полученного раствора БЛФ в сравнении с исходным молоком приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели БЛФ и исходного молока

Объект исследования	Изучаемые показатели					рН, ед.
	Плотность, кг/м ³	Сухие вещества, %	Жир, %	Белок, %	Титруемая кислотность, °Т	
Пастеризованное молоко	1029	11,09	2,5	3,04	18	6,67
Раствор белково-липидной фракции (БЛФ)	1065	28,87	13,0	12,0	45	6,33-6,3

Из результатов эксперимента следует, что содержание сухих веществ в БЛФ стало в 2,6 раза выше исходного молока. Содержание жира увеличилось в 5,2 раза в сравнении с исходным молоком. Практически полный переход жира подтвердился тем, что содержание жира в сывороточно-пектиновой фракции было на уровне следовых количеств (меньше 0,05%). Органолептическая характеристика раствора БЛФ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Органолептические показатели раствора БЛФ

Вид фракции	Наименование показателя			
	Цвет	Вкус	Запах	Консистенция
БЛФ	Насыщенный ярко белый	Приятный кисловатый	Сливочно-молочный	Однородная, подобная натуральным сливкам с жирностью 30%
БЛФ полностью растворяется в воде и в молочном сырье; Не изменяет растворимости после тепловой обработки при 80-85°C				

Органолептические показатели раствора белково-липидной фракции и его высокая жирность указывают на целесообразность производства из такого сырья концентрированного белкового кисломолочного продукта. Чтобы сделать окончательный выбор в указанном направлении создания нового продукта, следовало изучить способность раствора БЛФ к сквашиванию под действием заквасочных культур молочнокислых бактерий.

Полученную белково-липидную фракцию пастеризовали при 76-78 °C в течение 15-20 секунд и охлаждали до температуры заквашивания: 27-28 °C для закваски «Сметана VIVO» (Украина) и 39-41°C для йогуртовой закваски «Yo-mix» (Danisco). Динамика процесса ферментации отражена на рисунке 1.

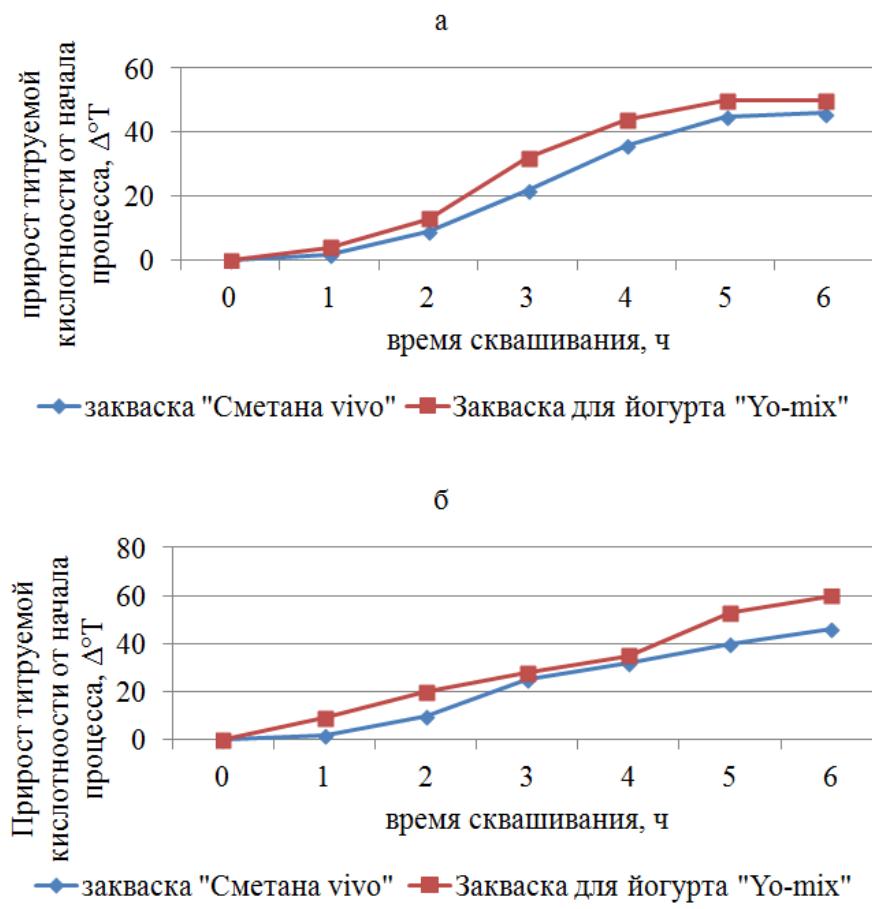


Рис. 1 – Динамика сбраживания белково-липидной фракции нормализованного молока заквасками кисломолочных культур: *а* – производственная закваска 3% от массы БЛФ; *б* – закваска прямого внесения

Из результатов следует, что в динамике брожения проб с закваской прямого внесения и производственной закваской принципиально не отличается. Не смотря на то, что в растворе БЛФ содержание лактозы составляет менее 1 %, он хорошо сквавшается кисломолочными культурами. По органолептическим показателям выбор сделан в пользу закваски «Сметана VIVO». Кисломолочный сгусток из БЛФ имел высокое содержание сухих веществ, а содержание белка составляло на уровне с творогом. По органолептическим свойствам был похож на нечто среднее между сметаной, пластичным творогом и сливочным мягким маслом. Учитывая состав и органолептические показатели, был выбран продукт «Сливочно-белковый крем».

Возможность регулирования массовой доли жира в продукте путем регулирования массовой доли жира исходного молока, подтверждается экспериментальными данными, представленными в таблице 4.

Таблица 4 – Зависимость массовой доли жира в белково-липидной фракции от исходных показателей молочного сырья ($n=3$, $V<5\%$)

Исходные показатели молочного сырья		Показатели белково-липидной фракции		Степень концентрирования жира в БЛФ относительно молока (расчет по сухому веществу)
Массовая доля жира, %	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля сухих веществ, %	
2,5	10,7	13,3	28,5	2,2
3,0	11,2	16,1	28,6	2,1
3,5	11,7	17,6	29,9	2,0
4,0	12,2	20,5	31,4	2,0

Примечание: содержание белка в исходном пастеризованном молоке не менее 3%, содержание СОМО 8,2%. Продолжительность фракционирования 2 часа.

Из полученных результатов следует, что сухие вещества молока практически не влияют на содержание сухих веществ БЛФ и, как нам кажется, на этот показатель может влиять только содержание пектина в смеси.

В качестве основы для «Сливочно-белкового крема», ориентируясь на полученные результаты и потребительские предпочтения, было решено использовать пастеризованное молоко с массовой долей жира 2,5%, ориентируясь на массовую долю жира в БЛФ 13%.

По итогам работы разработаны 2 рецептуры продукта: с зеленью и солью и с натуральным пчелиным медом. Профильные диаграммы подбора компонентов отражены на рисунке 2-3.

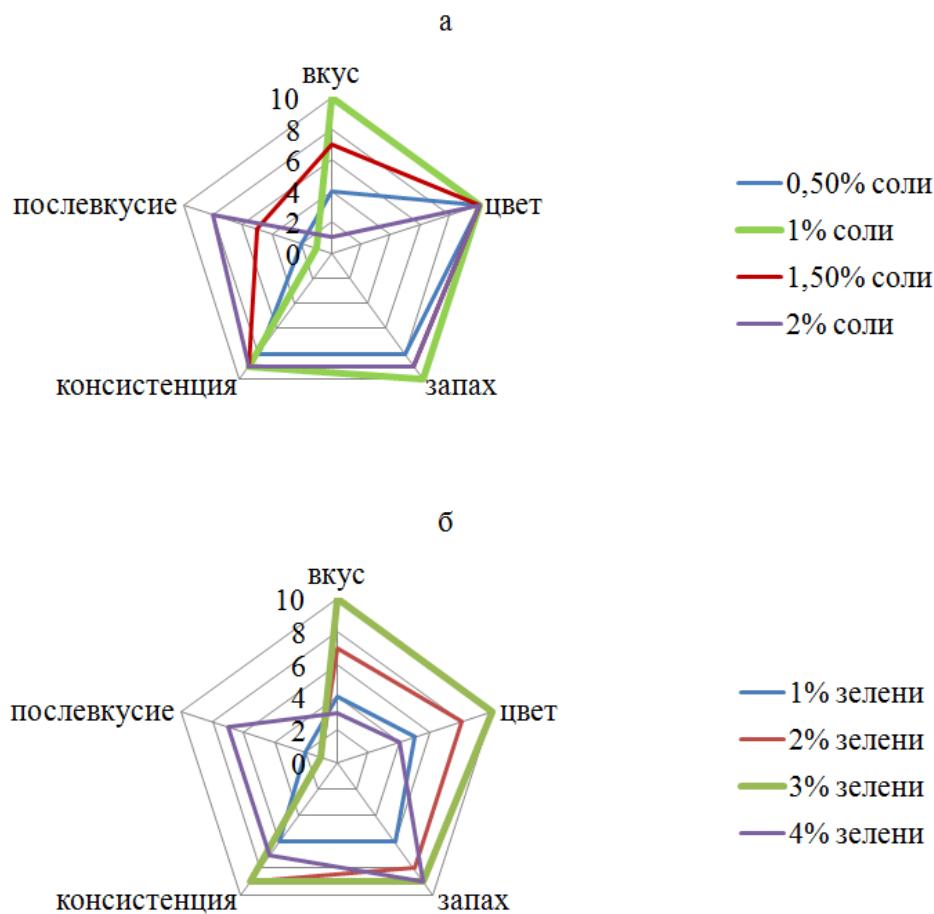


Рис.2 – Вкусовые профили рецептур «Сливочно-белкового крема с зеленью»: а – подбор массовой доли соли, б – подбор массовой доли зелени

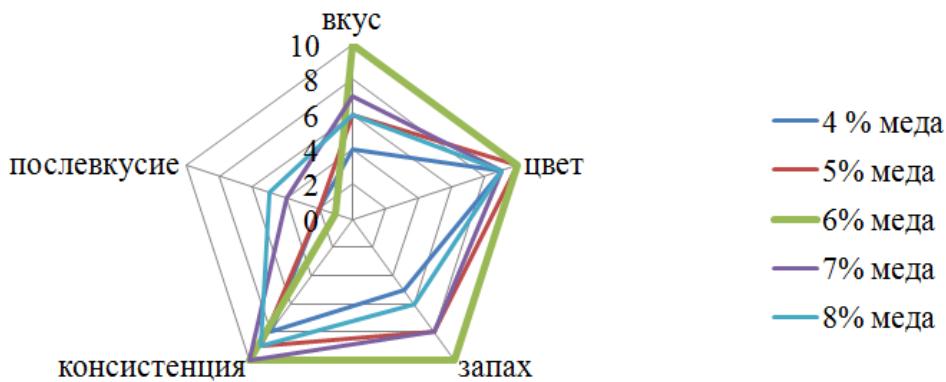


Рис.3 – Вкусовые профили рецептур «Сливочно-белкового крема десертного» с натуральным пчелиным медом

Подбор рецептурных компонентов осуществляли по средствам дегустационного анализа экспертами по 5 утвержденным дескрипторам: цвет, вкус, консистенция, послевкусие, запах. Дескрипторы оценивали по 10-балльной шкале.

Соль в кисломолочный продукт вносили предварительно прогрев при 102-105°C в течение 20 минут. Зелень укропа и петрушки использовали замороженную по ТУ 9739-192-37676459-2013 «Зелень пряная свежая и замороженная. Технические условия». В ферментированный сливочно-белковый крем зелень добавляли после бланшировки. Для десертного варианта рецептуры натуральный пчелиный мед добавляли до тепловой обработки БЛФ перед сквашиванием.

По результатам дегустационной оценки, были выбраны следующие соотношения компонентов. Для «Сливочно-белкового крема с зеленью» содержание соли – 1%, содержание наполнителя – 3%. Для «Сливочно-белкового крема десертного» содержание натурального пчелиного меда – 6%.

Органолептические, микробиологические и физико-химические показатели разработанного продукта представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Качественные показатели «Сливочно-белкового крема»

Показатель	Вид продукта	
	«Сливочно-белковый крем с зеленью»	«Сливочно-белковый крем десертный»
Физико-химические показатели		
Массовая доля жира, % не менее	13,0	13,0
Массовая доля белка, % не менее	11,0	11,0
Массовая доля влаги, % не более	30	30
Массовая доля соли, % не менее	1	-
Органолептические показатели		
Вкус	Сливочный. Умерено соленый. С привкусом укропа и петрушки.	Сливочный вкус, с приятным привкусом меда
Запах	Кисломолочный с умеренным запахом зелени.	Приятный легкий цветочный запах. Без посторонних ароматов.
Цвет	Белый с вкраплениями зелени укропа и петрушки	Белый или белый с кремовым оттенком. Равномерный по всей массе
Консистенция	Мягкая, пластичная, с наличием включений зелени	Мягкая, пластичная.
Микробиологические показатели		
БГКП, см ³ (г), в которой не допускается	0,01	0,01
КМАФАнМ, КОЕ/см ³ (г) не менее	10 ⁷	10 ⁷

Таким образом, на основании проведенных исследований предложена эффективная неэнергоемкая технология нового продукта высокой пищевой и биологической ценности, привлекательными потребительскими характеристиками.

Список литературы/ References

1. Орлова Т.А. Функциональные продукты питания на основе концентратов, полученных при фракционировании молочного сырья полисахаридами/ Т.А. Орлова, М.А. Ткаченко// Материалы международной конференции «Пробиотики, пребиотики и функциональные продукты питания» (г. Москва) –2004. – С. 194–195.
2. Молочников В.В. Безотходная технология переработки молока с применением полисахаридов / В.В. Молочников. – М.: Агропромиздат, 2007. – 320 с.
3. Орлова Т. А. Использование фракционирования молочного сырья полисахаридами в производстве функциональных продуктов питания / Т. А. Орлова // Хранение и переработка сельхозсырья. –2003. – № 8. – С. 123–125.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Orlova T.A. Funkcional'nye produkty pitaniya na osnove koncentratov, poluchennyy pri frakcionirovaniyu molochnogo syr'ya polisaharidami [Functional foods based on concentrates obtained by fractionation of raw milk polysaccharides]/ T.A. Orlova, M.A. Tkachenko // Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Probiotiki, prebiotiki i funkcional'nye produkty pitaniya» (Moskva) [The international conference "Probiotics, prebiotics and functional foods" (Moscow)]. - 2004.. – P. 194-195. [in Russian]
2. Molochnikov V.V. Bezothodnaya tekhnologiya pererabotki moloka s primeneniem polisaharidov [Wasteless technology of processing of milk using polysaccharides] / V.V. Molochnikov – M.: Agropromizdat, 2007. – 320 p. [in Russian]
3. Orlova T. A. Ispol'zovanie frakcionirovaniya molochnogo syr'ya polisaharidami v proizvodstve funkcional'nyh produktov pitaniya [Use of raw milk fractionation by polysaccharides in the production of functional foods] / T.A. Orlova // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural products]. – 2003. – №8. – P. 123 – 125. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.121

Федянин М.Р.¹, Лазарев В.М.²^{1,2}Кандидат технических наук,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ В МОДЕЛИ ОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЫ

Аннотация

При выполнении геодезических измерений необходимо учитывать влияние рефракции для объектов, находящихся в пределах земной атмосферы. В работе предлагается использовать модель атмосферы с постоянной плотностью и проводится сравнение со "Стандартная атмосфера ГОСТ 4401-73" [1,с.1-117]. Результаты вычислений углов рефракции сравнивались с результатами численного интегрирования интеграла рефракции группы И. Г. Колчинского, приведёнными в [2,с.34-36]. Прослеживается хорошее согласие углов фотограмметрической рефракции в наших вычислениях и в [2,с.34-36] для всех высот вплоть до 80° по зенитному расстоянию. Рассмотрено также определение (относительных) воздушных масс.

Ключевые слова: геодезические измерения, астрономическая рефракция, фотограмметрическая рефракция, однородная атмосфера, показатель преломления, плотность воздуха, инвариантное соотношение теории рефракции, воздушная масса.

Fedyanin M.R.¹, Lazarev V.M.²^{1,2}PhD in Engineering,

Tomsk state architectural and construction university

PHOTOGRAMMETRIC REFRACTION IN MODEL OF HOMOGENEOUS ATMOSPHERE

Abstract

When performing geodetic measurements one must take into account the effect of refraction for objects within the earth atmosphere. Authors propose to use the model of the atmosphere with a constant density and make a comparison with the "Standard atmosphere GOST 4401-73" [1 p.1-117]. The results of refraction angle calculations are compared with the results of numerical integration of the refraction integral of I.G. Kolchinskiy group given in [2, p.34-36]. There is a good compliance of photogrammetric refraction angles in calculations resulted and those in [2, s.34-36] for all heights up to 80° of zenith angle. We also consider the definition of (relative) air masses.

Keywords: geodetic measurements, astronomical refraction, fotogrammetrichesky refraction, uniform atmosphere, index of refraction, air density, invariant ratio of the theory of a refraction, air mass.

При изучении астрономической и фотограмметрической рефракции обычно используется модель сферически-слоистой атмосферы, которая по физическим представлениям считается наиболее близкой к реальной атмосфере Земли. При этом поверхности равных значений плотности и соответственно коэффициента преломления будут концентрическими сферами, центр которых совпадает с центром Земли. Модель атмосферы с постоянной плотностью воздуха [3,с.94-95] считается весьма искусственной, далёкой от представлений о строении реальной атмосферы и не обещающей достаточной точности при её использовании для решения рефракционных задач.

Однако модель однородной атмосферы обладает несомненной простотой и наглядностью. После некоторого усовершенствования она была успешно применена при создании модели несферической атмосферы Земли [4,с.3-26]. Ниже модель однородной атмосферы используется для вычисления углов астрономической и фотограмметрической рефракции в слое атмосферы ниже той точки, с которой производится фотосъёмка местности. В той или иной мере используются представления трёх моделей: сферически-слоистой, однородной по плотности и стандартной (статической) атмосферы [1,с.1-117].

Оставляя в стороне простейший случай плоской однородной атмосферы перейдём к рассмотрению сферической атмосферы (см. рис.1). Точка В - точка, с которой производится фотосъёмка. В реальной атмосфере плотность воздуха ρ убывает с ростом высоты h над уровнем моря примерно по экспоненциальному закону. Мысленно сожмём слой атмосферы ниже точки В до слоя конечной высоты, в пределах которого плотность воздуха постоянна и равна плотности у основания слоя. Между верхней границей этого слоя и границей слоя точки В будет существовать вакуум. Таким же образом остаток атмосферы выше точки В превратится в слой конечной высоты (толщины) с постоянной плотностью, равной плотности воздуха в точке В. Луч света, направленный из точки А местности под видимым зенитным углом Z, распространяется в однородном слое атмосферы по прямой, в точке С испытывает преломление по закону Снеллиуса, и, двигаясь также по прямой, попадает в точку В. Введём следующие обозначения: φ - видимый надирный угол фотографирования из точки В; γ - внешний угол треугольника ABC - угол рефракции луча при его распространении от поверхности Земли до точки В; γ_A и γ_B - внутренние углы Δ ABC, γ_B - угол фотограмметрической рефракции, подлежащей определению в настоящей работе. b = AO, c = CO, d = BO - расстояния, соответственно, точек А, С и В от центра Земли. BO' = H_φ - высота фотографирования над точкой O' местности. В общем случае

$$b = h_A + R_3 ; c = b + H_\rho ; d = H_\phi + h_O + R_3 . \quad (1)$$

В (1): h_A и h_{O'} - высоты точек А и O' соответственно над уровнем моря; R₃ - радиус Земли; H_ρ - высота однородной по плотности атмосферы над точкой А для слоя атмосферы от уровня точки А до уровня точки В. При распространении луча за точку В угол φ' - угол преломления в остаточном однородном слое с плотностью воздуха ρ_ρ. Высоту однородной атмосферы H_ρ можно представить в виде

$$H_\rho = \frac{1}{\rho_0} \int_{h_O}^{h_{rp}} \rho(h) dh , \quad (2)$$

здесь ρ₀ - плотность воздуха на нижней границе, а интегрирование в атмосфере производится до высоты с граничным (пренебрежимо малым) значением плотности ρ_ρ. Сам интеграл представляет собой массу воздуха над

площадкой единичного сечения от высоты h_0 до высоты h_{tp} .

В [1,с.95] приведена высота однородной атмосферы, имеющая обозначение H_p , которая рассчитывалась по формуле

$$H_p = \frac{RT}{g}, \quad (3)$$

где R - удельная газовая постоянная; абсолютная температура T и ускорение свободного падения g берутся для нижней границы слоя (имеющего высоту h_0 в обозначении формулы (2)). Формулы (2), (3) дают одинаковый

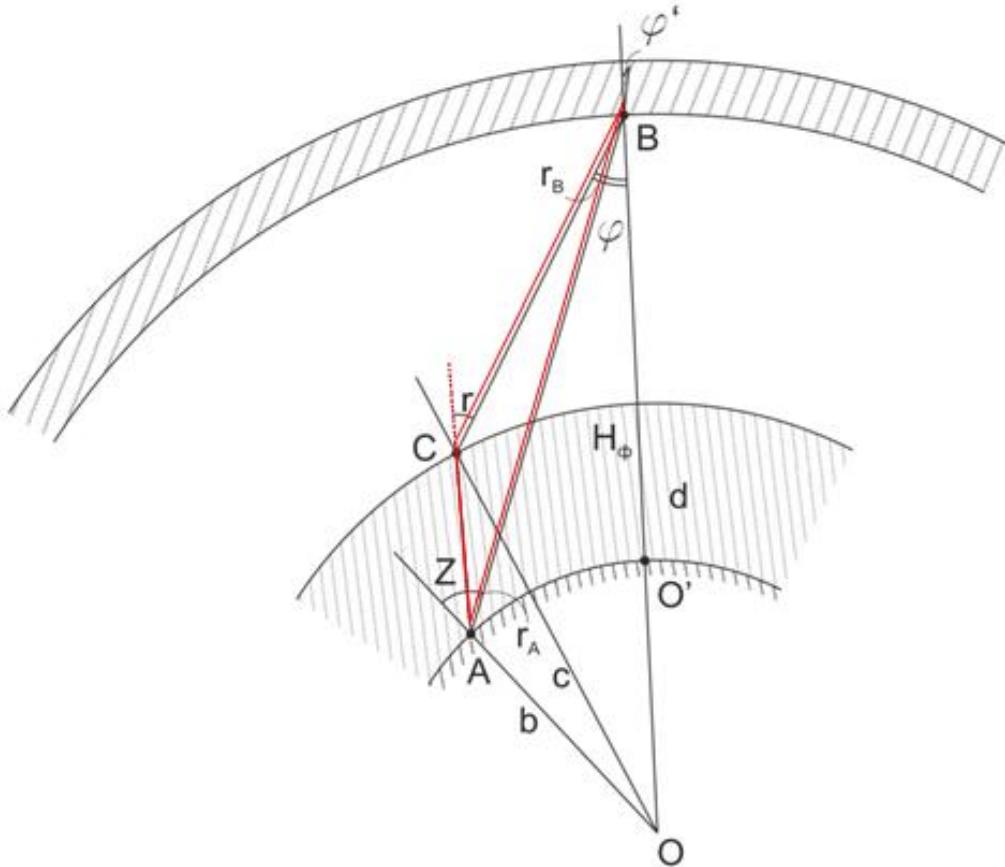


Рис. 1 – К расчету углов r , r_A и r_B в модели атмосферы с постоянной плотностью

результат, что является одним из критериев внутренней согласованности параметров стандартной (статической) атмосферы [1,с.1-117].

При выполнении дальнейших расчетов предполагалось, что высоты точек А и О' равны нулю, а показатель преломления определяется из выражения [5,с.21]:

$$n - 1 = 78.85P/T * 10^{-6}. \quad (4)$$

Для стандартных значений метеопараметров ($P = 1013.25$ мбар, $T = 288.15$ сухой воздух) для белого света по формуле (4) получим: $n_c = 1.00027727$.

Приводим алгоритм вычисления углов r , r_A , и r_B .

1. Вычисление r . Угол r найдём как разность углов астрономической рефракции при распространении луча через всю толщу атмосферы и через остаток атмосферной толщи выше точки В, используя модель однородной атмосферы. Астрономическая рефракция вычисляется по формуле Кассини [6,с.3-168]. В наших обозначениях она выглядит так:

$$\sin r_1 = \frac{b}{c} \sin Z \left(n_0 \sqrt{1 - \left(\frac{b}{c} \sin Z \right)^2} - \sqrt{1 - \left(n_0 \frac{b}{c} \sin Z \right)^2} \right), \quad (5)$$

здесь n_0 - показатель преломления, вычисленный по метеопараметрам в точке А; входящая в "с" высота однородной атмосферы бралась из [1,с.62-90] (её можно вычислить по формуле (3)). По формуле Кассини вычислим рефракцию r_2 для слоя атмосферы выше точки В:

$$\sin r_2 = \frac{b'}{c'} \sin \varphi' \left(n_B \sqrt{1 - \left(\frac{b'}{c'} \sin \varphi' \right)^2} - \sqrt{1 - \left(n_B \frac{b'}{c'} \sin \varphi' \right)^2} \right), \quad (6)$$

здесь видимый зенитный угол предварительно должен быть определён из инвариантного соотношения теории рефракции [7,с.166] :

$$\sin \varphi' = \frac{bn_0}{dn_B} \sin Z, \quad (7)$$

а $b' = b + H_\phi$; $c' = b' + H_p^{(b)}$, ($H_p^{(b)}$) - высота однородной атмосферы над точкой В, определяется по [62-90,1]). n_B определяем по формуле (4) или из соотношения

$$\frac{n_B - 1}{n_0 - 1} = \frac{\rho_B}{\rho_0}.$$

По (5) и (6) находим r_1 и r_2 , и окончательно:

$$r = r_1 - r_2 \quad (8)$$

2. Вычисление r_A . Для вычисления угла r_A необходимо знать высоту однородной атмосферы над точкой А (для слоя атмосферы между уровнями точки А и точки В).

$$H_P^{(A)} = H_P^{(0)} - H_P^{(B)} * \frac{\rho_B}{\rho_0},$$

где $H_P^{(0)}$ - высота однородной атмосферы для всей толщи атмосферы (для стандартных значений метеопараметров $H_P^{(0)} = 8.434$ км); $H_P^{(B)}$ - высота атмосферы для части атмосферы выше точки В; множитель $\frac{\rho_B}{\rho_0}$ приводит эту высоту к плотности воздуха ρ_0 . Тогда: $n = n_0$; $b = R_3$; $c = b + H_P^{(A)}$; $d = R_3 + H_\phi$.

Полученная ниже формула для вычисления r_A имеет входным аргументом надирный видимый угол ϕ при точке В. Необходимо по значению Z найти угол ϕ . Связь этих углов для однородной атмосферы выглядит так:

$$\phi = \arcsin(n_0 \frac{b}{d} \sin Z) \quad (9)$$

Следует заметить, что вычислив ϕ по (9) и применив формулу Снеллиуса, легко получить формулу (7) для ϕ' , т.е. оставаясь в рамках модели однородной атмосферы получить интересующее нас значение ϕ' , не прибегая к представлениям сферически-слоистой модели. Решая треугольники ABC, ACO и др. (см. рис.1), используя формулу Снеллиуса и сохраняя при разложении тригонометрических функций в ряд по малому параметру первые члены разложения, получим следующее выражение для числа r_A :

$$r_A = \rho'' \left[\frac{d}{c} \sin \phi \left(B - \frac{1}{n_0} C \right) * [B * C + \frac{1}{n_0} \left(\frac{d}{c} \sin \phi \right)^2 + \frac{cB - bA}{\alpha \cos \phi - cC}]^{-1} \right], \quad (10)$$

$$\text{где } \rho'' = 206265, \text{ а } A = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{bn_0} \sin \phi \right)^2}, \quad B = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{cn_0} \sin \phi \right)^2}, \quad C = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{c} \sin \phi \right)^2}.$$

3. Вычисление r_B . Угол фотограмметрической рефракции r_B , как внутренний угол треугольника ABC, будет равен (см. рисунок)

$$r_B = r - r_A. \quad (11)$$

Результат вычислений по формулам (5) - (11) для различных H_ϕ и Z представлены в таблицах 1, 2.

Замечание к таблицам 1, 2. В некоторых случаях равенство $r = r_A - r_B$ выполняется приближенно, вследствие того, что значения r_B вычислялись по значениям r и r_A с большим числом значащих цифр, а затем все величины округлялись до 0.1 секунды дуги. В таблицах 1, 2 приведены также результаты сравнения "наши значения - Колчинский". Группа И. Г. Колчинского проводила вычисления r , r_A и r_B путём численного интегрирования на ЭВМ с использованием Стандартной атмосферы ВСА-60 [2, с.35]. При интегрировании атмосфера разбивалась на слои толщиной в 0.5 км.

Сравнение наших вычислений с результатами вычислений группы И. Г. Колчинского показывает, что наблюдается хорошее согласие угла r_B для всех высот и зенитных расстояний Z вплоть до 80° . При аэрофотосъёмке, даже при использовании короткофокусных (широкоугольных) топографических аэрофотоаппаратов (АФА), угол поля зрения 2ϕ не превышает 140° , т.е. ϕ (или примерно равный ему угол Z) 70° .

Не представляет особой сложности вычисление углов рефракции в рамках однородной модели атмосферы и для других значений метео параметров (если они известны), отличных от стандартных. Описанный выше алгоритм вычисления фотограмметрической рефракции пригоден и для малых высот (съёмка с беспилотных летательных аппаратов - БПЛА), и при

До сих дполагалось, что показатель преломления n_0 в процессе распространения луча остаётся неизменным. Это справедливо для монохроматического излучения.

Таблица 1 – Значения углов r , r_a r_b в секундах дуги и разности «наши значения – Колчинский [2]»
(первая, вторая и третья строки для каждого Z соответственно)

Z, градусы	Высота, км															
	5		10		15		20		25		30		35		40	
20	8.3	0.0	13.8	0.0	17.5	-0.1	19.3	-0.1	20.1	-0.1	20.5	-0.1	20.6	-0.1	20.7	-0.1
	4.5	0.0	7.9	0.0	10.5	0.0	12.5	0.0	14.0	0.0	15.0	0.0	15.8	0.0	16.4	-0.1
	3.8	-0.1	5.9	-0.1	7.0	0.0	6.8	0.0	6.2	0.0	5.5	0.0	4.8	-0.1	4.3	0.0
40	19.1	-0.1	31.8	-0.1	40.3	-0.1	44.4	-0.2	46.3	-0.2	47.2	-0.2	47.6	-0.1	47.7	-0.2
	10.3	0.0	18.1	0.0	24.2	-0.1	28.8	-0.1	32.1	-0.1	34.6	-0.1	36.4	-0.1	37.8	-0.1
	8.8	-0.1	13.7	0.0	16.1	-0.1	15.6	-0.1	14.2	0.0	12.6	-0.1	11.2	0.0	9.9	-0.1
50	27.2	0.0	45.1	-0.1	57.2	-0.2	63.1	-0.2	65.8	-0.2	66.9	-0.3	67.5	-0.2	67.7	-0.3
	14.6	0.0	25.7	0.0	34.3	-0.1	40.9	-0.1	45.6	-0.1	49.0	-0.2	51.6	-0.2	53.6	-0.2
	12.6	-0.1	19.4	-0.1	22.9	-0.1	22.2	-0.1	20.2	0.0	17.9	-0.1	15.9	0.0	14.1	-0.1
60	39.4	-0.2	65.5	-0.2	83.0	-0.3	91.5	-0.3	95.4	-0.3	97.1	-0.3	97.9	-0.4	98.3	-0.3
	21.2	+0.1	37.3	0.0	49.8	-0.1	59.2	-0.2	66.1	-0.2	71.1	-0.3	74.8	-0.3	77.7	-0.3
	18.2	-0.2	28.2	-0.2	33.2	-0.2	32.3	-0.1	29.3	-0.1	26.0	-0.2	23.1	-0.1	20.5	-0.1
70	62.5	-0.2	103.5	-0.4	131.2	-0.5	144.5	-0.5	150.6	-0.5	153.3	-0.6	154.5	-0.6	155.0	-0.6
	33.5	+0.1	58.8	-0.2	78.4	-0.5	93.3	-0.5	104.0	-0.6	111.9	-0.6	117.8	-0.6	122.3	-0.6
	29.0	-0.3	44.8	-0.1	52.8	0.0	51.2	0.0	46.6	+0.1	41.4	0.0	36.7	0.0	32.7	0.0
80	127.8	-0.7	210.5	-1.1	265.3	-1.4	291.3	-1.4	303.0	-1.4	308.1	-1.7	310.4	-1.6	311.4	-1.5
	68.2	-0.2	118.1	-2.1	156.4	-3.3	185.4	-3.8	206.4	-3.9	221.9	-3.7	233.5	-3.6	242.5	-3.4
	59.6	-0.4	92.4	+1.0	108.9	+2.0	105.9	+2.4	96.6	+2.5	86.2	+2.1	76.9	+2.1	68.9	+1.8
82	159.1	-1.2	260.9	-1.9	327.7	-2.3	359.1	-2.4	373.1	-2.4	379.2	-2.7	381.9	-2.6	383.1	-2.5
	84.8	-0.5	145.3	-3.9	191.5	-6.1	226.5	-6.9	252.0	-6.9	270.7	-6.8	284.8	-6.5	295.8	-6.1
	74.4	-0.6	115.6	+2.0	136.3	+3.9	132.7	+4.5	121.2	+4.6	108.5	+4.1	97.0	+3.8	87.3	+3.6
84	208.9	-2.9	339.8	-4.4	424.1	-5.2	463.0	-5.6	480.1	-5.5	487.4	-5.9	490.6	-5.8	492.0	-5.8
	110.8	-1.9	186.5	-8.9	243.6	-13.3	287.0	-14.9	318.8	-14.9	342.3	-14.5	360.1	-13.9	374.1	-13.1
	98.1	-1.1	153.3	+4.4	180.5	+8.1	176.0	+9.3	161.3	+9.4	145.0	+8.5	130.5	+8.1	117.9	+7.3
86	296.5	-	474.2	-16.8	584.4	-19.0	633.9	-19.6	655.0	-19.7	663.9	-20.2	667.7	-20.1	669.3	-20.1
	157.5	12.2	253.0	-25.6	324.0	-36.8	378.8	-40.7	419.6	-41.2	450.4	-40.2	474.1	-38.8	492.6	-37.5
	139.0	-6.8	221.2	+8.8	260.4	+17.8	255.1	+21.1	235.4	+21.5	213.5	+20.1	193.6	+18.7	176.7	+17.4

Таблица 2 – Продолжение таблицы 1 для средних и больших высот

Z, градусы	Высота, км									
	60		80		100		200		300	
20	20.8	-	20.8	-	20.8	-	20.8	-	20.8	-
	17.9	-0.5	18.6	-0.4	19.0	-0.3	19.9	-0.2	20.2	-0.1
	2.9	-	2.2	-	1.8	+0.2	0.9	+0.1	0.6	0.0
40	47.9	-	47.9	-	47.9	-	47.9	-	47.9	-
	41.1	-0.8	42.8	-0.6	43.8	-0.5	45.8	-0.3	46.5	-0.2
	6.7	-	5.1	-	4.1	+0.4	2.0	+0.1	1.4	+0.1
50	68.0	-	68.0	-	68.0	-	68.0	-	68.0	-
	58.4	-0.8	60.7	-0.7	62.2	-0.5	65.0	-0.3	66.0	-0.2
	9.6	-	7.2	-	5.8	+0.4	2.9	0.0	2.0	0.0
60	98.6	-	98.6	-	98.6	-	98.6	-	98.6	-
	84.6	-0.8	88.0	-0.7	90.1	-0.5	94.2	-0.3	95.7	-0.2
	14.0	-	10.6	-	8.5	+0.3	4.3	-0.1	2.9	-0.1
70	155.5	-	155.5	-	155.5	-	155.5	-	155.5	-
	133.1	-1.0	138.5	-0.8	141.8	-0.6	148.3	-0.4	150.6	-0.2
	22.4	-	17.0	-	13.8	+0.1	7.2	-0.2	5.0	-0.3
80	312.3	-	312.3	-	312.3	-	312.3	-	312.3	-
	263.9	-3.0	274.7	-2.5	281.2	-2.3	294.8	-1.5	299.6	-1.2
	48.4	-	37.6	-	31.0	+0.5	17.5	-0.2	12.7	-0.5
82	384.1	-	384.1	-	384.1	-	384.1	-	384.1	-
	322.0	-5.2	335.3	-4.5	343.4	-4.1	360.5	-2.9	366.6	-2.5
	62.1	-	48.7	-	40.6	-	23.6	-	17.4	-
84	493.2	-	493.2	-	493.2	-	493.2	-	493.2	-
	407.6	-11.3	424.9	-10.0	435.6	-9.2	458.4	-7.4	467.0	-6.5
	85.5	-	68.3	-	57.6	-	34.7	-	26.2	-
85	570.7	-	570.7	-	570.7	-	570.7	-	570.7	-
	466.1	-18.5	486.4	-16.7	499.0	-15.6	526.5	-12.9	536.9	-11.9
	104.5	-	84.3	-	71.6	+4.7	44.2	+2.1	33.8	+1.1
86	670.7	-	670.7	-	670.7	-	670.7	-	670.7	-
	538.6	-33.2	562.9	-30.7	578.3	-28.9	612.2	-25.2	625.5	-23.6
	132.0	-	107.8	-	92.4	-	58.5	-	45.2	-

В действительности же мы при проведении аэрофотосъёмочных работ в пределах атмосферы, и для больших высот за пределами основной толщи атмосферы (спутниковая рефракция). фотографических, визуальных и др. видах измерений, с фильтрами или без фильтров, имеем дело с гетерохромным излучением, т.е. излучением, ограниченным некоторым интервалом длин волн. С ростом воздушной массы на пути луча роль коротковолновой части в общем потоке излучения будет быстро уменьшаться (особенно на больших Z, т.е. при больших воздушных массах), и световой поток будет становиться как бы всё более и более "красным", поскольку экстинкция в коротковолновой области существенно больше, чем в длинноволновой [8, с.387-388]. Изменение эффективной длины волны λ_{eff} в общем потоке излучения приводит к непрерывному изменению n, так что траектория луча, при прочих равных условиях, будет иной, по сравнению с той, которую она бы имела при неизменном показателе преломления. Этот эффект приведёт к изменению углов рефракции, однако эти изменения незначительны, более или менее заметны при больших H_Φ и Z.

Анализируя изменения кривой распределения энергии в спектре Солнца в зависимости от Z, можно принять, что при $H_\Phi = 25$ км и $Z = 84^\circ$ показатель преломления может изменить своё значение от n_0 до $n = 1.000275$. Тогда, сделав расчеты, используя модель однородной атмосферы, получим следующие результаты:

$$r = 476.1"; r_A = 316.1"; r_B = 160.0".$$

Сравнивая эти значения с приведёнными в таблице 1, видим, что r_B уменьшилось на 1.3".

В заключение следует отметить, что в модели атмосферы с постоянной плотностью легко определить (относительную) воздушную массу, широко применяемую в исследованиях по фотометрии. Её можно определить как для слоя конечной толщины, так и для всей атмосферы.

На рисунке 1: АС - длина пути луча в слое однородной атмосферы. Решая ΔACO (используя теорему синусов), найдём АС . Относительная воздушная масса, т.е. длина пути луча в единицах высоты однородной атмосферы, есть: $M = AC/H_p$. Приведём для сравнения небольшую таблицу 3, где приведены M, вычисленные нами, и табличные значения по [9, с.182], для всей толщи атмосферы для пяти зенитных расстояний.

Таблица 3 – Вычисленные и табличные значения воздушных масс в функции Z.

Воздушные массы	Видимое зенитное расстояние				
	50°	60°	70°	80°	90°
$M_{\text{выч}}$	1.554	1.996	2.909	5.64	38.88
$M_{\text{табл}}$	1.553	1.995	2.904	5.60	38

Список литературы / References

- ГОСТ 4401-73. Стандартная атмосфера. Параметры. – М.: 1974. – 117с.
- Колчинский И. Г. Рефракция света в земной атмосфере/И.Г. Колчинский. – Киев: Наукова Думка, 1967. – 44с.
- Мак-Картни Э. Оптика атмосферы/Э. Мак-Картни.– М.: Мир, 1979. – 421с.
- Федянин М. Р. Обоснование и разработка модели несферической атмосферы для повышения точности астрономо-геодезических измерений: Автoref. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (25.00.32)/Михаил Романович Федянин; Сибирская государственная геодезическая академия – Новосибирск, 2003. – 26с.
- Островский А. Л. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения/ А.Л. Островский, Б.М. Джуман, Ф.Д. Заблоцкий и др.– М.: Недра, 1990. – 235с.
- Нefед'eva A. I. Астрономическая рефракция. Часть первая/А.И. Нefед'eva // Известия АОЭ.-1968.-№36.-с. 3-168.
- Халхунов В. З. Сферическая астрономия/В.З. Халхунов.–М.: Недра, 1972. – 304с.
- Курс астрофизики и звёздной астрономии, т. I/ под ред. акад. А. А. Михайлова. – М.: Наука, 1973. – 608с.
- Allen K. U. Astrofizicheskie velichiny/K.U.Allen.– М.: Mir, 1977. – 446с.

Список литературы на английском языке / References in English

- GOST 4401-73. Standartnaya atmosfera. Parametry. [Standard atmosphere. Options.]- M.: 1974. – 117p. [in Russian]
- Kolchinskii I. G. Refrakciya sveta v zemnoi atmosfere[The refraction of light in the earth's atmosphere.]/I.G. Kolchinskii. - Kiev: Naukova Dumka, 1967. – 44 p. [in Russian]
- Mak-Kartni E. Optika atmosfery[Atmospheric Optics.]/E. Mak-Kartni.- M.: Mir, 1979. – 421 p. [in Russian]
- Fedyanin M. R. Obosnovanie i razrabotka modeli nesfericheskoi atmosfery dlya povysheniya tochnosti astronomo-geodezicheskikh izmerenii. [Justification and development of a non-spherical model of the atmosphere to increase the accuracy of astronomical and geodetic measurements]: Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tehn. nauk (25.00.32) [Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences. (25.00.32)] /Mihail Romanovich Fedyanin; Siberian State Academy of Geodesy- Novosibirsk, 2003. – 26 p. [in Russian]
- Ostrovskii A. L. Uchet atmosfernyh vliyanii na astronomo-geodezicheskie izmereniya.[Accounting for atmospheric effects on astronomical and geodetic measurements.]/ A.L. Ostrovskii, B.M. Dzhuman, F.D. Zablockii and others.- M.: Nedra, 1990. – 235 p. [in Russian]
- Nefed'eva A. I. Astronomiceskaya refrakciya. Chast' pervaya [Astronomical refraction. Part one]/A.I. Nefed'eva // News AOE.-1968.-№36.-p. 3-168. [in Russian]
- Halhunov V. Z. Sfericheskaya astronomiya[Spherical astronomy.]/V.Z. Halhunov.-M.: Nedra, 1972. – 304 p. [in Russian]
- Kurs astrofiziki i zvezdnoi astronomii, t. I[Course of astrophysics and stellar astronomy, vol. I] / pod red. akad. A. A. Mihailova [edited by acad. A.A. Mixailova]. - M.: Nauka, 1973. – 608 p. [in Russian]
- Allen K. U. Astrofizicheskie velichiny[Astrophysical quantities.]/K.U.Allen.- M.: Mir, 1977. – 446 p. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.003

Фирсов А.Ю.¹ Шанин И.М.²

¹Кандидат технических наук, Санкт-Петербургский горный университет,

²аспирант, Санкт-Петербургский горный университет

УПРАВЛЕНИЕ АМПЕРНОЙ НАГРУЗКОЙ НА ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ СЕРИИ ПРИ ФИКСИРОВАННОМ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВАНН-СВИДЕТЕЛЕЙ

Аннотация

В работе изучается вопрос адаптивного управления нагрузкой постоянного тока на электролизной серии в производстве алюминия на основе мониторинга теплового режима выбранных ванн. Общее технологическое состояние серии включенных последовательно в цепь электролизеров оценивается при постоянном контроле температуры днища стального кожуха и температуры отходящих газов на выходе в общую систему газоходов на 5 ваннах свидетелях. Температура электролита в ваннах-свидетелях определяется косвенным методом путем адаптации усредненного значения текущих температур газов и кожуха после составления матрицы реальных измерений температур при заданной нагрузке тока. Зависимость температуры электролита от измеряемых температур определяется по градиуровочной таблице, на основе ручных замеров температуры электролита хромель-алюмелевыми термопарами для каждой ванны серии. Достоверным отклонением теплового режима всей серии можно считать только в случае изменений температуры на всех ваннах свидетелях. Преимуществом разработанного способа мониторинга является повышение эффективности управления электролизерами.

Ключевые слова: электролиз, алюминий, электролизное производство, SCADA-системы.

Firsov A.Yu.¹, Shanin I.M.²

¹PhD in Engineering, ²Postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

CONTROL OF AMPERAGE ON ELECTROLYTIC SERIES WITH FIXED MEASUREMENT OF TEMPERATURE CONDITIONS OF BATHES-WITNESSES

Abstract

This paper considers the problem of adaptive control of DC load on the electrolytic series in aluminum production based on the monitoring of the thermal conditions of selected baths. The general technological condition of the series of electrolytic baths connected in series into the circuit is estimated at a constant temperature control at the bottom of steel jacket and the temperature control of exhaust gases at the outlet to the overall gas duct system on 5 baths-witnesses. The temperature of the electrolyte in the baths-witnesses is determined indirectly by adapting the average value of current temperatures of gas and steel jacket after compiling of matrix of real temperature measurements for a given load current. The dependence of the electrolyte temperature on the measured temperature is determined by the calibration table based on the manual measurement of temperature of electrolyte by chromel-alumel thermocouples for each series of baths. A significant difference of the thermal conditions of the entire series can be considered only in case of temperature changes at all baths-witnesses. The advantage of the developed monitoring method is the improvement of efficiency of electrolytic baths control.

Keywords: electrolysis, aluminum, electrolytic production, SCADA-systems.

Определение зависимости температуры электролита от температуры отходящих газов и температуры катодного кожуха

Существует множество способов контроля и управления параметрами электролизеров [1], [2], [3]. Как правило [4], замеры температур катодов и электролита производятся технологическим персоналом с периодичностью 5-6 раз в месяц с фиксированием данных специальную таблицу. Поэтому в связи с трудностями оперативного контроля температуры электролита, которая вызвана необходимостью нахождения термопары в среде высокотемпературного химически агрессивного криолит-глиноземного расплава (945-1000 °C), информация о тепловом режиме, как отдельных ванн, так и всей серии поступает с большим интервалом запаздывания. Также отсутствует возможность получения информации об общем температурном фоне серии во временном срезе, что приводит к сбоям при регулировании серии по величине значений греющего напряжения (заданным уставкам) при помощи системы автоматизации (СААТ).

Замер температуры, который производится вручную с помощью переносной хромель-алюмелевой термопары, что существенно снижает управляемость процесса электролиза в целом, и как следствие, приводит к снижению экономических показателей производства (ТЭП).

Для получения данных о температуре электролита предлагается одновременное измерение температуры отходящих газов и катодного кожуха (мониторинг теплового состояния), что может являться косвенным показателем температурного режима ванны и серии (температуры электролита). Для выявления зависимости и соотношения с теоретическими данными и моделированием теплового поля алюминиевого электролизера, был проведен лабораторный эксперимент. Схема установки для текущего мониторинга теплового состояния электролизера показана на рисунке 1,

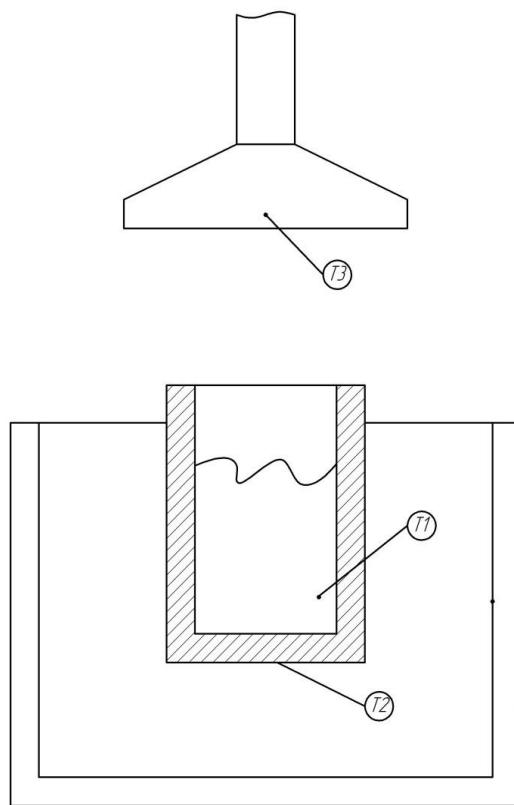


Рис. 1 – Схема лабораторной установки

где Т1 – температура электролита, Т2 – температура катодного кожуха, Т3 – температура отходящих газов.

На лабораторной установке были смоделированы два состояния: нормальный установившийся тепловой режим, для определения зависимости температур; и рост температуры электролита для определения величины и скорости отклика по косвенным измерениям. На основании измерений на установке, которая состоит из углеродистого тигля заполненного расплавом и подключенными контактными датчиками, была получена зависимость, приведенная на графике (рис. 2).

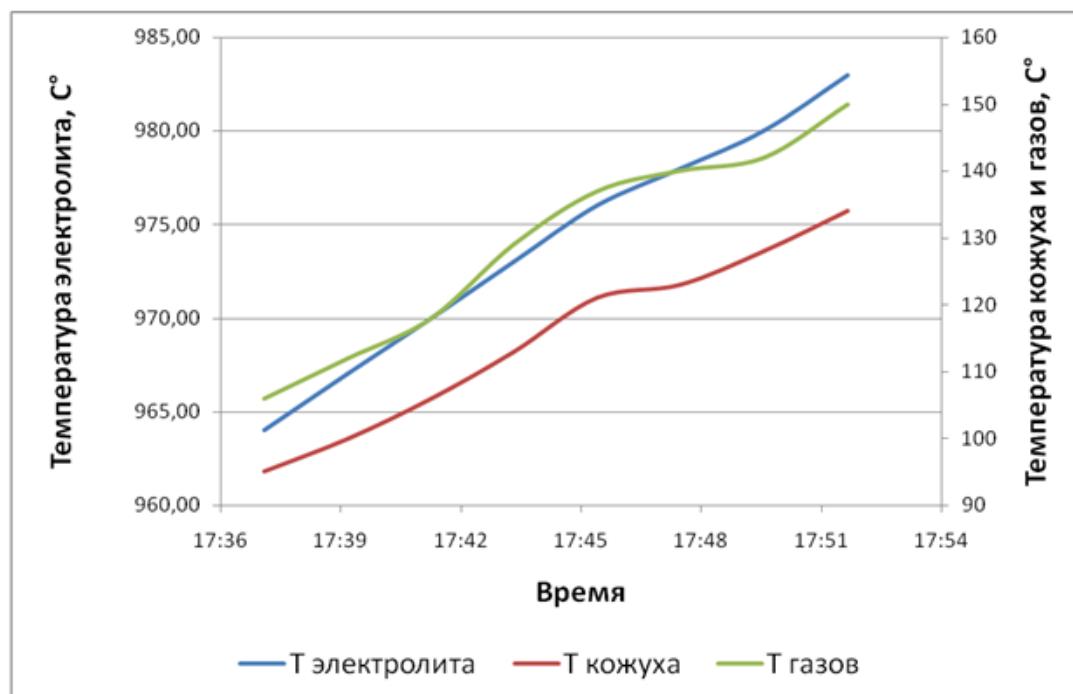


Рис. 2 – Зависимости температуры газов и кожуха от скорости нагрева расплава

Из графика видно, что при повышении температуры электролита происходит рост температуры катодного кожуха и отходящих газов. Так же видно, что температура отходящих газов, при изменении теплового режима ванны, растет быстрее, что указывает меньшую инерцию (запаздывание) данного показателя. Для исключения ложного

предположения об отклонении температурного режима ванны необходимо использовать оба параметра и провести их адаптацию к значениям температуры расплава.

Далее был проведен пересчет зависимостей исходя и расчета теплопотерь через плоскую стенку ванны, и получена расчетная зависимость. В связи с влиянием МГД нестабильности и постоянно изменяющимся внутренним геометрическим пространством ванны, предусматривается ввод поправочного коэффициента, вносимого по результатам периодического ручного замера [5].

Для расширения функциональных возможностей разработанная схема мониторинга может быть дополнена другими альтернативными способами контроля, например неразрушающими [5],[6].

Алгоритм формирования аварийного сообщения

Как правило, на действующих электролизных сериях, величина предельного отклонения температурного режима от нормы задается технологом, и далее вносится как параметр уставки в систему автоматизации для последовательного регулирования. Предлагается вносить изменения непосредственно на экране телекоммуникатора SCADA-системы [7],[8] для каждого электролизера – свидетеля отдельно. Таким образом, будет учитываться технологическое состояние каждого электролизера в отдельности, пространственное расположение серии, и другие факторы возмущения, влияющие на скорость и величину отклика косвенных измерений. Точность мониторинга обеспечивается выбором месторасположения ванн-свидетелей, поскольку электролизеры, находящиеся в торцах электролизной серии на входе и выходе из нее, а также электролизеры, расположенные около транспортных галерей имеют отличный тепловой режим от среднестатистического оборудования. Это связано, в первую очередь, с различной аэрацией тепловых потоков вокруг катодного кожуха, большой чувствительностью при перепадах температуры воздуха в различный период времени (до 60°C).

Предполагается, что при возникновении предаварийных сообщений об отклонении температурного режима на всех пяти электролизерах – свидетелях, формируется общее аварийное предупреждение «Отклонение температурного режима на серии». При возникновении аварийного сообщения на АРМе оператора, и на основании заключения технолога принимается решение и вносится изменение в уставку токовой нагрузки на кремниево-преобразовательной подстанции (КПП).

При наличии предаварийных сообщений от отдельных ванн, и на основании заключения технолога делается вывод об отклонении температурного режима конкретной ванны. Такая ситуация возникает при возникновении анодного эффекта на ванне либо регламентных работах.

Механизм адаптации

В течение всего срока эксплуатации электролизера изменяются его теплофизические свойства (образуется настыль, деградирует футеровка и т.п.), что неизбежно приведет к потере точности механизма (алгоритма) формирования аварийных сообщений. Для решения данной проблемы предлагается вносить корректирующие коэффициенты и производить контрольные замеры температуры. Данное решение позволит своевременно скорректировать погрешность расчетов температуры и исключить возможность ложного срабатывания.

Коэффициенты предполагается вносить на стационарном посте (АРМе оператора). Для исключения неадекватного изменения, возможность внесения корректирующих коэффициентов разрешена только технологу.

Выводы

Таким образом, при всех трудностях оперативного контроля и измерений температуры электролита, предложенный способ позволяет более оперативно реагировать на отклонения в тепловом режиме серии, которое может быть вызвано различными факторами (анодные эффекты, резкое изменение температуры воздуха, сбои в регулировании напряжения и др.).

Использование пяти ванн-свидетелей позволяет достоверно оценить состояние серии, при этом значительно снижает финансовую нагрузку на предприятия при модернизации существующей системы управления.

Наличие дополнительных измерений на электролизерах, расширит функциональные возможности действующих систем автоматизации и позволит получать более достоверную информацию о состоянии процесса как на конкретных ваннах, так и по все серии в целом, что позволит повысить управляемость АСУТП, что приведет к повышению эффективности электролиза - выхода по току.

Ведение полной отчетности в SCADA системе о состоянии ванн-свидетелей позволит собрать большое количество статистической информации, на основе которой можно делать выводы о работе серии в течение длительных сроков. Анализируя полученную статистическую информацию о серии в целом и об отдельных электролизерах, появляется дополнительная информация для выявления узких мест в технологии, отклонений от регламента по различным причинам и другой информации.

Список литературы / References

1. Борисоглебский Ю.В. Металлургия алюминия/ Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А., // Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, - 1999, - 438 с.
2. Хазан Г.Л. Диагностика состояния многофакторного процесса / Г.Л. Хазан, А.Г. Бабенко, В.Ю. Бажин // Расплавы. 2006. № 1. С. 28-35.
3. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. – СПб.: Питер, 2006.
4. Bazhin V.Yu., Boikov A.V., Sman A.V., Ivanov P.V. Optoelectronic method for monitoring the state of the cryolite melt in aluminum electrolyzers. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2015, Vol. 56, No. 1, pp. 6–9.
5. Petrov P.A., Sharikov Yu.V., Vlasov A.A., Bazhin V.Yu. and Feoktistov A.Yu. Developing software for the feed-control systems of high-power aluminum reduction cells // Metallurgist, Vol. 58, No. 11–12, March, 2015, pp. 1060 – 1063.
6. Bazhin V.Yu. A contactless method of measuring the cryolite ratio in the electrolytic production of aluminium / V.Yu.Bazhin, A.V. Boikov, P.V. Ivanov // Measurement Techniques, May 2015, Vol. 58, № 2, pp. 219-222.
7. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 328 с.

8. Кузьмина И.А. Развитие систем автоматизации от SCADA к MES на базе современных технологий от InvensysWonderware / И. А. Кузьмина, А. Д. Павлюченко // Автоматизация производства. №7. 2007. - С.22-26.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Borisoglebskij Ju.V. Metallurgija aljuminija [Metallurgy of aluminium] / Borisoglebskij Ju.V., Galevskij G.V., Kulagin N.M., Mincis M.Ja., Sirazutdinov G.A., // Novosibirsk: Nauka. Sibirskaja izdatel'skaja firma RAN [Siberian publishing firm of RAS], - 1999, - 438 p. [in Russian]
2. Hazan G.L. Diagnostika sostojanija mnogofaktornogo processa [Diagnostics of multivariate process] / G.L. Hazan, A.G. Babenko, V.Ju. Bazhin // Rasplavy [Melts]. 2006. № 1. p. 28-35. [in Russian]
3. Miroshnik I.V. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. Nelinejnye i optimal'nye sistemy. [Theory of automatic control. Nonlinear and optimal system.] – SPb.: Piter, 2006. [in Russian]
4. Bazhin V.Yu., Boikov A.V., Sman A.V., Ivanov P.V. Optoelectronic method for monitoring the state of the cryolite melt in aluminum electrolyzers. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2015, Vol. 56, No. 1, pp. 6–9.
5. Petrov P.A., Sharikov Yu.V., Vlasov A.A., Bazhin V.Yu. and Feoktistov A.Yu. Developing software for the feed-control systems of high-power aluminum reduction cells // Metallurgist, Vol. 58, No. 11–12, March, 2015, pp. 1060 – 1063.
6. Bazhin V.Yu. A contactless method of measuring the cryolite ratio in the electrolytic production of aluminium / V.Yu.Bazhin, A.V. Boikov, P.V. Ivanov // Measurement Techniques, May 2015, Vol. 58, № 2, pp. 219-222.
7. Suharev A.G., Timohov A.V., Fedorov V.V. Kurs metodov optimizacii. [The course methods of optimization.] – M.: Nauka [Science], 1986. – 328 p. [in Russian]
8. Kuz'mina I.A. Razvitie sistem avtomatizacii ot SCADA k MES na baze sovremennoy tehnologij ot InvensysWonderware [The development of automation systems from SCADA to MES based on modern technologies from InvensysWonderware] / I. A. Kuz'mina, A. D. Pavluchenko // Avtomatizacija proizvodstva. [Production automation] №7. 2007. - p.22-26. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.083

Шавалеева Д.Н.¹, Салимова А.И.²

¹ORCID: 0000-0002-3491-7576, Аспирант,

²ORCID: 0000-0002-5227-1676, Аспирант,

Уфимский государственный авиационный технический университет

**ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСАХ
КАК ЧАСТЬ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Аннотация

В условиях рыночной экономики становится актуальным совершенствование организации управления предприятием и, прежде всего, процессом производства, эффективным использованием финансовых, материальных ресурсов, материальных запасов и т.д. В настоящее время необходимо вооружить финансовых менеджеров целенаправленной системой методов и алгоритмов обоснования наиболее эффективных управленческих решений по отдельным аспектам финансовой деятельности, внедрить современные механизмы финансового управления в практику хозяйствования предприятий. Эффективное управление материальными ресурсами повышает прибыль и обеспечивает необходимые инвестиции. Для поддержания высокой прибыльности и ликвидности значительную роль играет управление текущей деятельностью предприятий, в частности управление материальными запасами. Бизнес-процесс «Планирование потребности в материально-технических ресурсах» является частью архитектуры предприятия и определяет порядок планирования на основе утвержденных норм расхода и запаса материально-технических ресурсов с учетом вовлечения в оборот материалов из неиспользованных и сверхнормативных запасов текущего периода, что позволяет сформировать сводный плановый баланс поставок, в том числе по направлениям использования материально-технических ресурсов.

Ключевые слова: архитектура предприятия, материально-технический ресурс, поставки, закупки.

Shavaleeva D.N.¹, Salimova A.I.²

¹ORCID: 0000-0002-3491-7576, Postgraduate student, ²ORCID: 0000-0002-5227-1676, Postgraduate student,

Ufa State Aviation Technical University

**REQUIREMENT PLANNING IN MATERIAL RESOURCES AS THE PART OF THE OPTIMUM
ENTERPRISE ARCHITECTURE**

Abstract

In the conditions of market economy there is urgent an enhancement of the organization of enterprise management and, first of all, a production process, effective use of financial, material resources, material inventories, etc. Now it is necessary to arm financial managers with purposeful system of methods and algorithms of reasons for the most effective management decisions on separate aspects of financial activities, to implement modern mechanisms of financial management in practice of managing of the entities. Effective management of material resources raises profit and provides necessary investments. For maintenance of high profitability and liquidity the significant role is played by management of the current activities of the entities, in particular management of material inventories. Business process "Requirement planning in material resources" is a part of an enterprise architecture and determines a planning order on the basis of the approved consumption rates and an inventory of material resources taking into account involvement in turnover of materials from unused and above-standard inventories of a current period that allows to create a composite planned balance of deliveries, including in the directions of use of material resources.

Keywords: enterprise architecture, material resource, supply, procurement.

I ntroduction

Development of the market relations determines new conditions of the organization of material logistics of the entities. High inflation, non-payments and other crisis phenomena force the entities to change the policy in relation to inventories, to look for new sources of replenishment, to study a problem of efficiency of their use [1, P. 202].

Any trade enterprise can't exist without trade inventories. Results of a business activity of the entity considerably depend on their amount and level. They sensitively react to any changes of market conditions, and, first of all, to the relation of the demand and supply. The fact of their existence doesn't bring them to owners of anything, except costs and losses.

Management of trade inventories is directed to increase in profitability and speed of the address of the invested capital. It provides at a stage of forming of trade inventories - control of level of trade inventories and reasons for an optimum order amount, on implementation phase of trade inventories – change of amounts and the reasons of creation of trade inventories and development of policy of sale of above-standard trade inventories [2, P. 120].

Material and methods

The type of a source of emergence of costs influences alternativeness (the centers of requirement planning in material resources) and methods (natural, cost or quantitative value term) requirement planning of material resources. So, the need for one types of material resources, for example raw materials and materials, is determined by production plans on the basis of standard rates of the material consumption and standard rates of repair of the equipment. The need for the expensive equipment generally depends on plans of capital construction and maintenance of objects. The need for material resources for maintenance and repair is determined by technical characteristics of the equipment, it arises at the level of structural divisions in the form of plans of technical repair on the basis of regional standard rates.

The centers of requirement planning in material resources realize this business process on levels of management on the basis of network and regional standard rates proceeding from:

- production plan;
- plan of capital repairs of the equipment;
- plan of capital construction;
- amounts of the materials involved from inventories and the equipment.

As basic data production plans, and also plans of capital construction and capital repairs for the planned period are used. Extent of disaggregation is provided with calculation of the planned requirement for each unit of material resources taking into account consumption rates and inventories, and also operational information about inventories in warehouses and operating plans of deliveries and an expense of material resources [3, P. 45].

Planning process of need for material resources iterative. At the same time the number and effectiveness of iterations depend on degree of coordination of production plans, plans of capital construction and capital repairs with amounts and methods of financing of costs for material logistics which, imposing certain financial restrictions for amounts of the purchased material resources, create prerequisites for the next iteration of requirement plans in material resources. Planning process after all participants of this process come to the approved version of the requirements plan in material resources comes to an end. As a result for the planned period the following documents are created and affirm:

- 1) the need for material resources (the purchased material resources);
- 2) amounts of residual inventories (the involved material resources from inventories);
- 3) a planned balance of inventories of material resources (the balance estimation of inventories of material resources for the end of planning period).

In case of further filling of regulatory and classification base requirement planning accuracy for the account will increase:

- the best separation of material resources on categories of resources;
- amendments of standard rates of an expense and inventories of material resources;
- disaggregations of the list of capital construction projects and capital repairs;
- improvements of a forecast accuracy of cost of material resources;
- increases in coordination of actions when planning on levels of management;
- increases in efficiency of control.

The purpose is the cost optimization, connected with material logistics of an industry, including:

- a cost optimization on materials, raw materials, the equipment, products, services;
- cost reduction of production due to liquidation of untimely delivery of material resources;
- a cost optimization on the organization and management of material logistics;
- optimization of inventories of material resources;
- optimization of the financial flows connected with material logistics.

Thus, the management system material logistics shall consist of three functional subsystems:

- subsystem of planning and regulation of material resources;
- subsystem of management of material resources;
- subsystem of accounting and control of availability and movement of material resources.

The purposes of the first business process "Requirement planning in material resources" by subsystems:

- 1) optimization of planned inventories of material resources;
- 2) a cost optimization on requirement planning in material resources;
- 3) reducing terms of requirement planning in material resources.

All requests shall be divided in the directions of use of material resources and the principles of execution of requests on a centralized basis the delivered material resources and delivered under direct contracts with directorate of material logistics [4, P. 37].

Enterprise architecture as a way to reduce the uncertainty in the relationship of information technology and business organizations of interest to companies in various areas: manufacturing, finance, government, insurance, etc. and forms of ownership and the state, and private.

The system (enterprise) architecture is a strategic information base, which determines:

- business structure;
- information needed to conduct the business;
- technologies used to support business;
- transient processes of transformation and development which are needed for the implementation of new technologies in response to the new changing business - requirements.

The subsystem "Requirement planning in material resources" is considered as an enterprise architecture component that determines its integration (vertical and horizontal) with other subsystems and systems based on general mechanisms of information exchange in the operational mode through a transformational layer.

The need for material resources for natural cost indicators is determined on the basis of production plans at each level of hierarchy, is basic information for determination of the budget of inventories and purchases, base for planning of process of replenishment of material and manufacturing inventories of material resources and an important element of all system of material logistics.

Conclusion

In modern conditions for the improvement of plants used to planning logistics system that does not have a flexible adaptation mechanism, it is necessary to use information planning model inputs that interact in a certain predetermined sequence for implementing the plans.

Transformation plan data in the information indicators that most closely match the economic realities, improve the efficiency and responsiveness of logistical support.

Список литературы / References

1. Анискин Ю. Планирование и контроллинг / Ю. Анискин – М. : Омега-Л, 2009. – 280 с.
2. Гаврилов Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP / Д. А. Гаврилов – СПб.: Питер, 2005. – 402 с.
3. Чейз Р. Б. Производственный и операционный менеджмент / Р. Б. Чейз – М.: Вильямс, 2010. – 396 с.
4. Шукаев А. И. Модели планирования закупок материальных ресурсов / А. И. Шукаев // Менеджмент в России и за рубежом. – 2011. - № 3. – С. 34-43.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aniskin Y. Planirovanie i controlling [Planning and controlling] / Y. Aniskin. – M.: Omega-L, 2009. – 280 p. [in Russian]
2. Gavrilov D. A. Ypravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP [Production management on the basis of the MRP standard] / D. A. Gavrilov – SPb.: St. Petersburg, 2005. – 402 p. [in Russian]
3. Chase R. B. Proizvodstvennyj i operacionnyj menedzhment [Production and operational management] / R. B. Chase. – M.: Williams, 2010. - 396 p. [in Russian]
4. Shukayev A. I. Modeli planirovaniya zakupok material'nyh resursov [Models of planning of purchases of material resources] / A. I. Shukayev // Menedzhment v Rossii i za rubezhom [Management in Russia and abroad]. – 2011. – № 3. – P. 34-43. [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.074

Шепелев А.О.¹, Кулинич И.О.², Шакенов Е.Е.², Плотников Д.И.², Артамонова Е.Ю.³

¹Магистрант, ²Студент, ³Аспирант,

Омский Государственный Технический Университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛАНСА АКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ МЕЖДУ ГЕНЕРАТОРОМ И НАГРУЗКОЙ НА ЧАСТОТУ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Аннотация

В статье рассматривается имитационное моделирование системы электроснабжения, состоящей из синхронного генератора, двухобмоточного трансформатора и 3-х нагрузок. Определяется влияние баланса мощностей между генератором и активными нагрузками на частоту питающего напряжения в энергосистеме. Показано, что при дефиците активной мощности происходит снижение частоты, которое может привести к различного рода авариям. Также в работе отмечается, что при снижении частоты питающего напряжения происходит ухудшение работы асинхронных двигателей собственных нужд электростанции.

Ключевые слова: имитационное моделирование, баланс активной мощности, частота напряжения.

Shepelev A.O.¹, Kulinich I.O.², Shakenov E.E.², Plotnikov D.I.², Artamonova E.Y.³

¹Undergraduate student, ²Student, ³Postgraduate student,
Omsk State Technical University

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF BALANCE ACTIVE POWER BETWEEN THE GENERATOR AND LOAD ON THE FREQUENCY IN THE POWER SYSTEM

Abstract

The article carried out the simulation of the power supply system consisting of a synchronous generator, two-winding transformer and 3-loads. It determines the effect of the balance of power between the generator and the active loads to the frequency of the supply voltage in the power system. It is shown that the active power deficiency takes place decrease in frequency, which can lead to various kinds of accidents. Also in the article that while reducing the frequency of the supply voltage, the deterioration of the asynchronous motors of own needs power

Keywords: simulation, active power balance, voltage frequency.

Электрические станции, подстанции, линии электропередачи, приёмники электрической энергии как составляющие любой электрической сети взаимосвязаны между собой процессами генерации, передачи, распределения, а также её потребления. Из-за того, что накопление больших объёмов электрической энергии затруднено, то данные процессы являются непрерывными. Обычно, процесс выработки электрической энергии практически совпадает с временем её потребления электроприёмниками. Из этого следует, что мощность, вырабатываемая всеми генераторами электростанций, должна быть строго равна суммарной мощности нагрузки, которая входит в данную электрическую сеть, в любой момент времени. Другими словами, в энергосистеме должен непрерывно соблюдаться баланс активных мощностей, вырабатываемой генераторами и потребляемой нагрузками системы:

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{нomp}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ген}}$ – активная мощность, вырабатываемая электростанциями энергосистемы;

$P_{\text{нomp}}$ – суммарная потребляемая активная мощность.

Суммарная потребляемая активная мощность представляет собой сумму 3 следующих составляющих:

$$P_{\text{нomp}} = P_{\text{нагр}} + \Delta P + P_{\text{чн}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{нагр}}$ – мощность, потребляемая нагрузками системы;

ΔP – потери активной мощности в элементах электрической системы;

$P_{\text{чн}}$ – активная мощность, необходимая для питания собственных нужд электростанций.

Невыполнение равенства в выражении 1, приводит к нарушению баланса мощностей системы, что в свою очередь ведёт к отклонению параметров ее режима. Баланс активной мощности поддерживается только самой системой, т. е. генераторами системы.

Основными причинами нарушения баланса активной мощности обычно являются:

- аварийное отключение генератора;
- непредусмотренный нормальным режимом работы рост потребления мощности;
- аварийное отключение линий электропередачи или трансформаторов связи на электростанциях.

Если $P_{\text{ген}} > P_{\text{нomp}}$, то в энергосистеме происходит рост частоты. Рост частоты можно устранить с помощью уменьшения мощности, вырабатываемой генераторами или отключать часть из них, тем самым обеспечивая регулирование частоты в энергосистеме.

Если $P_{\text{ген}} < P_{\text{нomp}}$, то в энергосистеме имеет место дефицит вырабатываемой мощности, а следовательно снижение частоты. Снижение частоты требует использование резерва мощности (догрузка уже работающих генераторов или введение генераторов, находящихся в “горячем” резерве) или автоматической частотной разгрузки (АЧР).

В противном случае снижение частоты приведёт не только к браку продукции у потребителей, но и к повреждению оборудования станций (в частности, вращающихся элементов) и развалу системы. Такое явление в энергосистеме принято называть “лавина частоты”. Причины “лавины частоты” легко объяснимы так как в правую часть выражения 1 входит $P_{\text{чн}}$, которая сильно зависит от мощности вырабатываемой самой электростанцией.

Для недопущения таких ситуаций кроме резерва мощности на электрических станциях необходимо иметь резерв по топливу. На тепловых электрических станциях должен быть обеспечен соответствующий запас топлива (газ, уголь и т.д.), а на ГЭС – запас воды. Если резерв станций исчерпан, а частота в системе не достигла номинального значения, то в действие вступают устройства АЧР. Основное назначение данного устройства автоматики является быстрое восстановление баланса мощности при её дефиците. Работа АЧР основана на скорейшем отключении части наименее ответственных потребителей. Автоматика частотной разгрузки является дискретной системой регулирования так как она производит отключение ступенями (или так называемыми очередями) [1].

Для исследования влияния баланса активных мощностей между генератором и нагрузкой на частоту в энергосистеме воспользуемся программным пакетом Matlab Simulink/SimPowerSystem [2]. Имитационная модель рассматриваемой электрической схемы представлена на рис. 1.

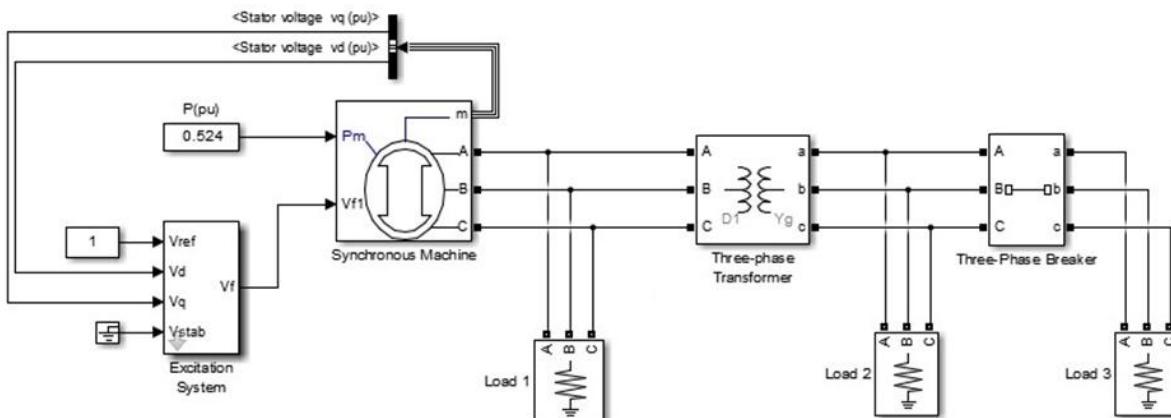


Рис. 1 – Имитационная модель схемы «генератор-нагрузка»

Имитационная модель состоит из синхронного генератора, двухобмоточного трансформатора и нагрузок. Нагрузка Load 1 моделирует мощность необходимую для собственных нужд электростанции (в данном случае, одиночного генератора). Load 2 постоянная нагрузка, которая присутствует на всём интервале времени. Load 3 нагрузка подключаемая/отключаемая с помощью трёхфазного ключа. Мощности нагрузок представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры нагрузок потребителей

Load 1, МВт	Load 2, МВт	Load 3, МВт
5	100	25

При моделировании данной схемы электроснабжения в определённый момент времени происходило отключение нагрузки Load 3 с помощью трёхфазного выключателя (начальное положение ключа – замкнутое). Также в работе производилось изменение механической мощности подаваемой на вал генератора турбиной. Рассмотренные значения механической мощности представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Механическая мощность, подаваемая на вал генератора

P _{мех} , о.е.	P _{мех} , о.е.	P _{мех} , о.е.
0,424	0,524	0,624

Изменение механической мощности подаваемой на вал генератора турбиной моделирует процесс использования резерва мощности.

Изменение частоты в рассматриваемой схеме представлено на рис.2. Синей линией показывается режим, когда вырабатываемая генератором мощность значительно больше необходимой для питания всех нагрузок. Жёлтая линия соответствует режиму, когда, мощности генератора недостаточно для покрытия дефицита мощности в энергосистеме. Красная линия изображает такой режим работы, когда после отключения нагрузки Load 3 происходит выравнивание уровня частоты, и она остаётся на постоянном уровне.

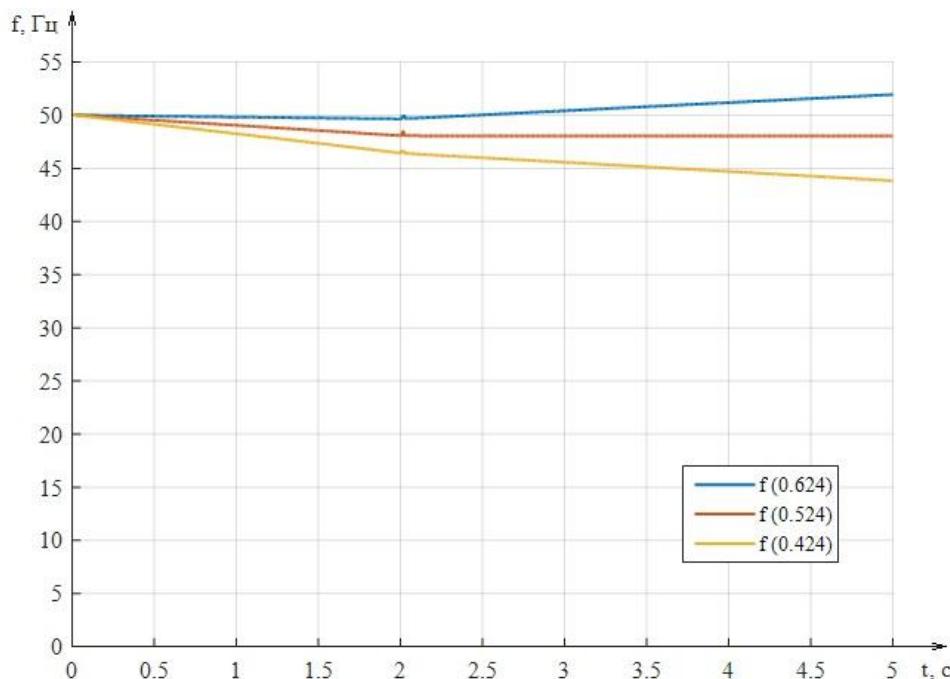


Рис. 2 – Изменение частоты в электрической сети при различных значениях механической мощности, подаваемой на вал генератора

Изменение частоты питающего напряжения напрямую связано со скоростью вращения вала генератора. При увеличении частоты в энергосистеме, вал генератора электростанции начинает крутиться сильнее, что в конечно итоге может повредить оборудование или привести к авариям. При уменьшении имеет место снижение скорости вращения вала генератора. Данный процесс снижения может вызвать тяжело устранимый процесс – “лавина частоты”. Изменение скорости вращения вала генератора представлено на рис. 3.

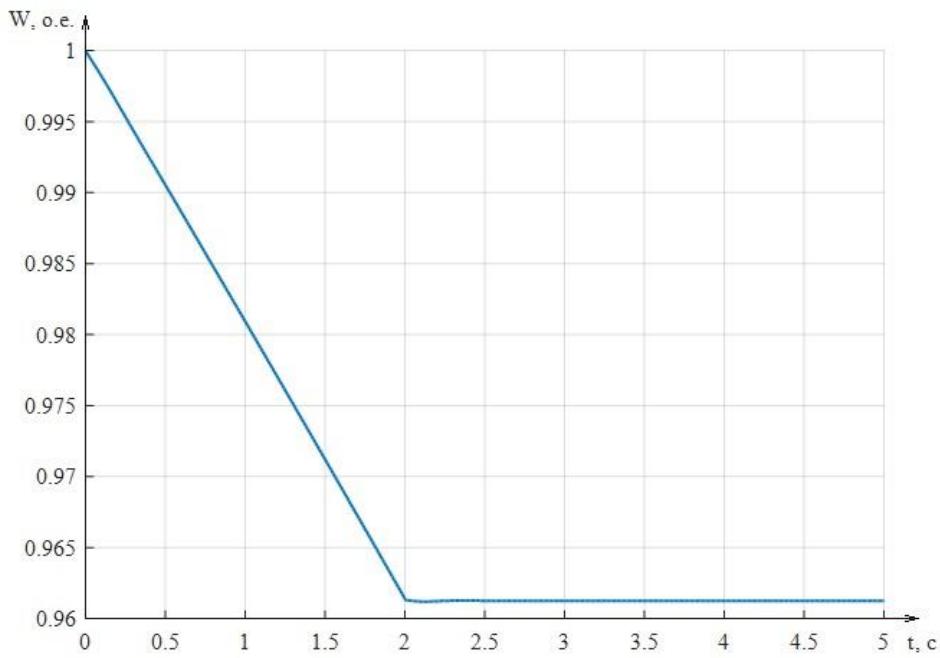


Рис. 3 – Изменение скорости вращения вала генератора

График изменения скорости вращения вала генератора представлен только для случая, когда $P_{\text{max}} = 0,524 \text{ о.е.}$. Как видно из графика, до времени равному 2 секунды, скорость вращения падает, из-за того, что генерируемой мощности не хватает для покрытия мощности нагрузки. После отключения нагрузки Load 3 происходит выравнивание и установление постоянного значения скорости вала генератора.

На рис. 4 представлено изменение напряжения на обмотке возбуждения синхронного генератора.

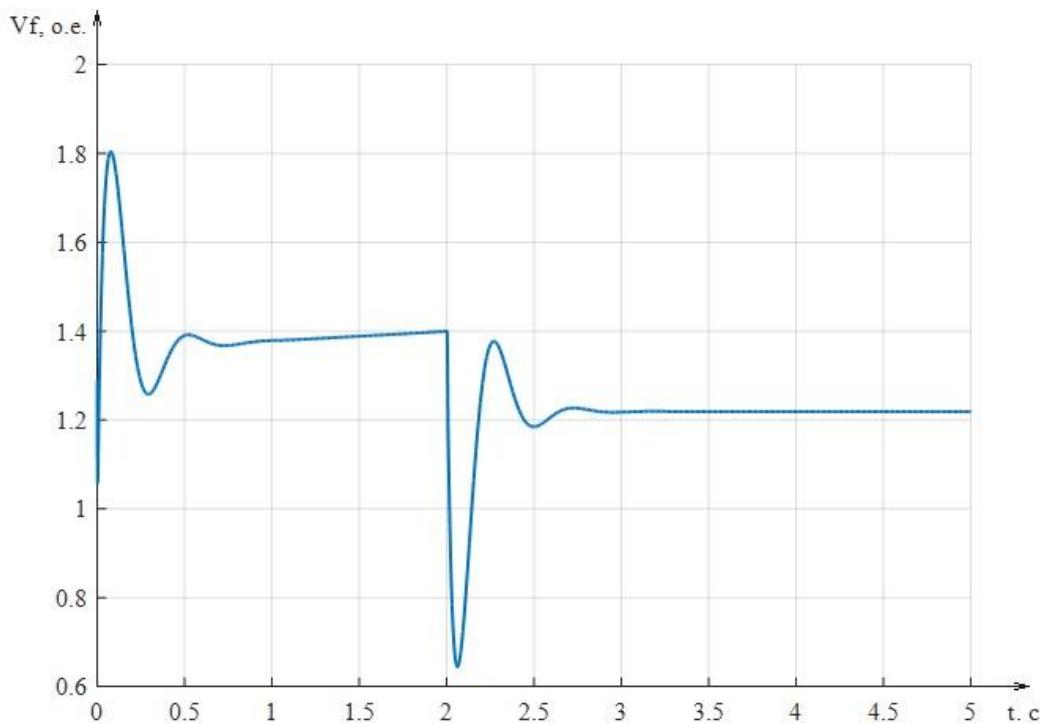


Рис. 4 – Изменение напряжения на обмотке возбуждения

Вывод: На основе имитационного моделирования показано влияние баланса активной мощности между генератором и нагрузкой на частоту, питающего напряжения. Как видно, при дефиците активной мощности в энергосистеме происходит снижение частоты, что может привести как к увеличению брака выпускаемой продукции, так и к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Стоит отметить, что при снижении частоты питающего напряжения происходит ухудшение в работе асинхронных двигателей собственных нужд электростанции. Ухудшение энергетических показателей асинхронных двигателей собственных нужд может привести к ухудшению ситуации, возникновению “лавины частоты”, а также к крупным авариям в энергосистеме.

Список литературы / References

1. Овчаренко, Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 504 с. – ISBN 5-93196-020-1
2. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab SimPowerSystem и Simulink / И. В. Черных. -М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с. – ISBN 5-94074-395-1.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ovcharenko, N.I. Avtomatika jelektricheskikh stancij i jelektroenergeticheskikh sistem: Uchebnik dlja vuzov [Automatics of power plants and electric power systems: A textbook for high schools] / Edited by A.F. D'yakova. – M.: Izd-vo NC JeNAS, 2000. – 504 p. – ISBN 5-93196-020-1 [in Russian]
2. Chernyh, I. V. Modelirovanie jelektrotehnicheskikh ustrojstv v Matlab SimPowerSystem i Simulink [Simulation of electrical devices in Matlab SimPowerSystem and Simulink] / I. V. Chernyh. -M.: DMK Press, 2007. – 288 p. – ISBN 5-94074-395-1 [in Russian]

DOI: 10.23670/IRJ.2017.55.025

Экимян А.Р.

Аспирант / Соискатель, Национальный исследовательский университет, МИЭТ г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО АЦП**Аннотация**

В данной работе представлен метод повышения помехоустойчивости в конвейерных Аналого-цифровых преобразователей (АЦП) вне зависимости от вариации процесса напряжения и температуры. Так как конвейерный АЦП работает с дифференциальным синхросигналом, то дифференциальный синхросигнал должен быть с 180 фазовым сдвигом, или разница точки пересечения дифференциального сигнала должна быть 0мВ. Если фазовый сдвиг больше или меньше 180, то помехоустойчивость и точность АЦП уменьшится. Так как вся система работает с синхросигналом, то исправления дифференциального синхросигнала является актуальной проблемой. Предлагаемый метод также помогает избежать ошибок времени задержания и установки в триггерах. Предлагаемый метод может использоваться в различных архитектурах конвейерного АЦП.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, низкочастотный фильтр, фазовый детектор, отношение сигнал/шум, генератор синхросигнала.

Hekimyan A.R.

Postgraduate student, National Research University of Electronic Technology, MIET in Moscow

RESEARCH AND DEVELOPMENT METHOD FOR INCREASE NOISE IMMUNITY OF PIPELINE ADC**Abstract**

Differential clock cross point correction method is presented in this paper. The proposed method provides differential clock with minimum crossing error or phase shift is 180 over PVT, which is needed to improve noise immunity of Pipeline ADC. As Pipeline ADC work with differential clock, so crossing error of differential clock could decrease noise immunity. As whole system works with differential clock, correcting phase shift of differential clock is actual issue. Cross point correction method also helps to avoid setup / hold violations in some systems. Proposed architecture can be used in different architecture of Pipeline ADCs.

Keywords: Analog-to-digital Converter (ADC), low pass filter (LPF), phase detector, signal-to-noise ratio (SNR), clock generator.

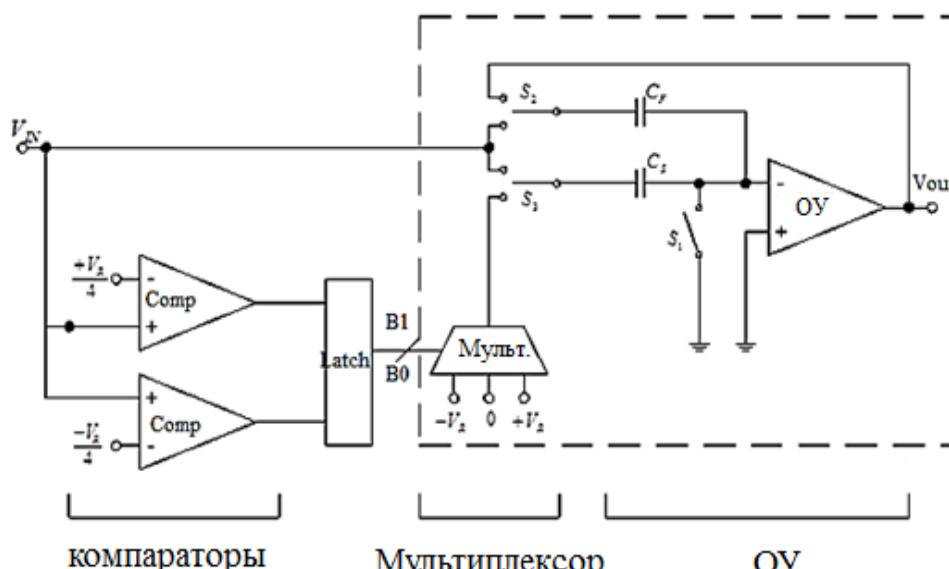


Рис. 1 – 1.5 бит каскад архитектура

На рис. 1 показано 1.5 бит каскад архитектура конвейерного АЦП. Схема работает в двух фазах. Во время первой фазы S1 ключ закрывается и отрицательный вход операционного усилителя соединяется с нулем. S1 и S2 ключи соединяют Cs Cf конденсаторы к входному напряжению, и таким образом конденсаторы заряжаются. Заряд на конденсаторах будет равно входному напряжению. Во同一 время аналоговое напряжение подается к компараторам и на выходе компараторов получается цифровой код. Во время второй фазы S1 ключ открывается, S2 ключ соединяет выход аналогового мультиплексора к Cs конденсатору, S3 ключ соединяет Cf конденсатор с выходом операционного усилителя, тем самым операционный усилитель будет работать в режиме отрицательной обратной связи. Аналоговый мультиплексор находит ошибку квантования и подает на вход операционного усилителя. Выход операционного усилителя подается к следующему каскаду конвейерного АЦП. Для 1.5 бит каскад архитектуры коэффициент усиления операционного усилителя равен 2. Это можно получить, если конденсаторы идентичны ($C_f = C_s$). Если конденсаторы не равны друг другу, то выход напряжение на выходе операционного усилителя будет неправильным. Выход операционного усилителя подается на следующий каскад, который имеет ту же архитектуру.

Все переходные процессы контролируются с помощью дифференциального синхросигнала. Все каскады работают синхронно. Если дифференциальный синхросигнал имеет погрешность, то каскады больше синхронно не будут работать и незначительные помехи будут сильно влиять на схему, так как каскады не синхронно переключаются.

Для нормальной работы конвейерный АЦП [1, С. 113] требуется дифференциальный синхросигнал. Фазовый сдвиг дифференциального синхросигнала приводит к уменьшению помехоустойчивости АЦП и даже может привести к сбоям системы [2, С. 16]. Фазовый сдвиг дифференциального синхросигнала нельзя игнорировать и исправление фазового сдвига является актуальной проблемой.

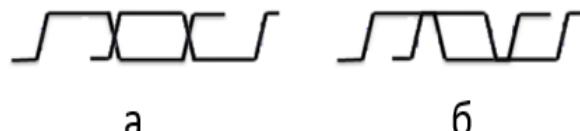


Рис. 2 – *а* – Идеальный дифференциальный синхросигнал; *б* – Неидеальный дифференциальный синхросигнал

На рис.2 показано идеальный дифференциальный синхросигнал и не идеальный дифференциальный синхросигнал [3, С. 310]. Если на вход АЦП подать синхросигнал на рис.1 б, то не только помехоустойчивость уменьшится, еще возможно потеря информации, так как схемы выпорки и хранения в каскадах конвейерного АЦП не будут синхронно делать дискретизацию аналогового сигнала [4, С. 467]. Из-за фазового сдвига дифференциального синхросигнала помехоустойчивость всей системы уменьшится. Поэтому, исправления дифференциального синхросигнала является актуальной проблемой.

Блок схема исправления [5, С. 2428] дифференциального синхросигнала состоит из фазового детектора (Рис.3), низкочастотного фильтра, дифференциального усилителя и генератора синхросигнала. Выход генератора синхросигнала будет почти идеальный дифференциальный синхросигнал с минимальным фазовым сдвигом, который используется для нормальной работы конвейерного АЦП. Неидеальный дифференциальный синхросигнал подается на входы фазового детектора и одновременно генератора синхросигнала. Выходы генератора синхросигнала подается на конвейерный АЦП.

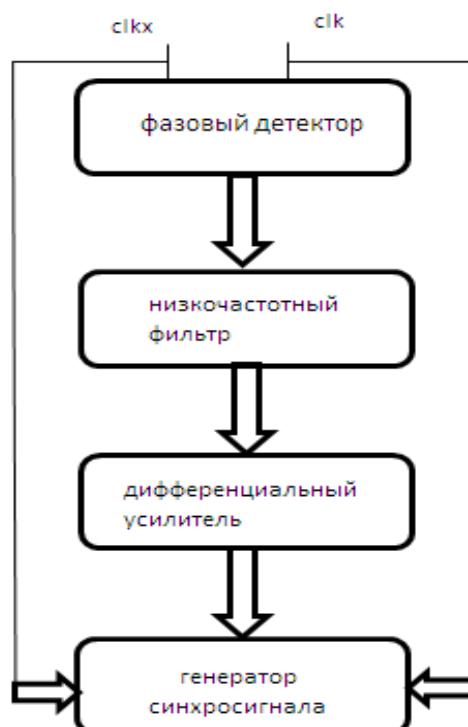


Рис. 3 – Блок-схема исправления дифференциального сигнала

Дифференциальный синхросигнал с фазовым сдвигом подается к входу фазового детектора (Рис. 4).

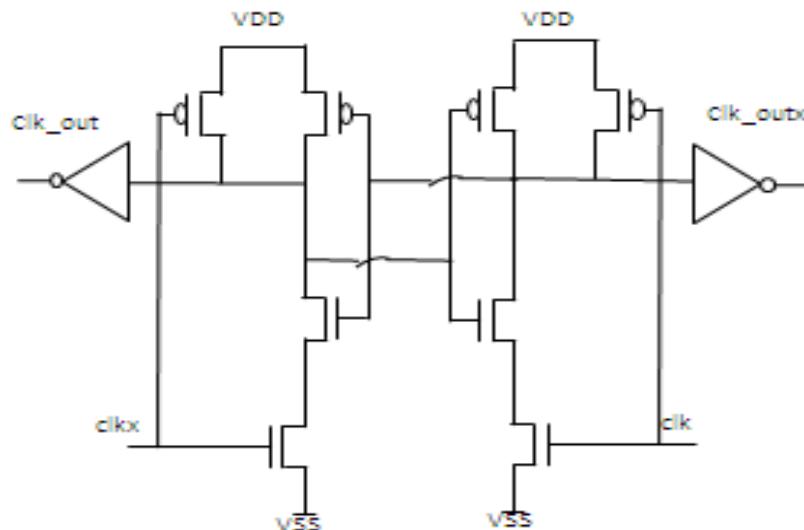


Рис. 4 – Фазовый детектор

Фазовый детектор имеет два выхода. На выходах фазового детектора будут импульсы, которые равны по длине фазовому сдвигу на входах. Тем самым на выходе фазового детектора будет информация фазового сдвига. Выходы фазового детектора подаются на низкочастотный фильтр, который интегрирует сигнал на входе. Низкочастотный фильтр генерирует напряжение, которое соответствует фазовому сдвигу дифференциального синхросигнала. Аналоговое напряжение подается на вход дифференциального усилителя (рис. 4). Необходимо помехоустойчивый дифференциальный усилитель, что бы обеспечить интегрированное напряжения на выходах в зависимости от входов. Для этого необходимо, что бы дифференциальный усилитель имел широкий канал. Это реализовано с помощью последовательных ПМОП транзисторов. Дифференциальный усилитель должен хорошо сбалансирован, так как выходы являются контрольными входами генератора синхросигнала (рис. 6 а.).

Генератор синхросигнала имеет 4 входа. На два входа подается дифференциальный синхросигнал, остальные два входа для контроля исправления фазового сдвига. Эти входы контролируются с помощью дифференциального усилителя. На рис.6 б. показано входные сигналы генератора синхросигнала.

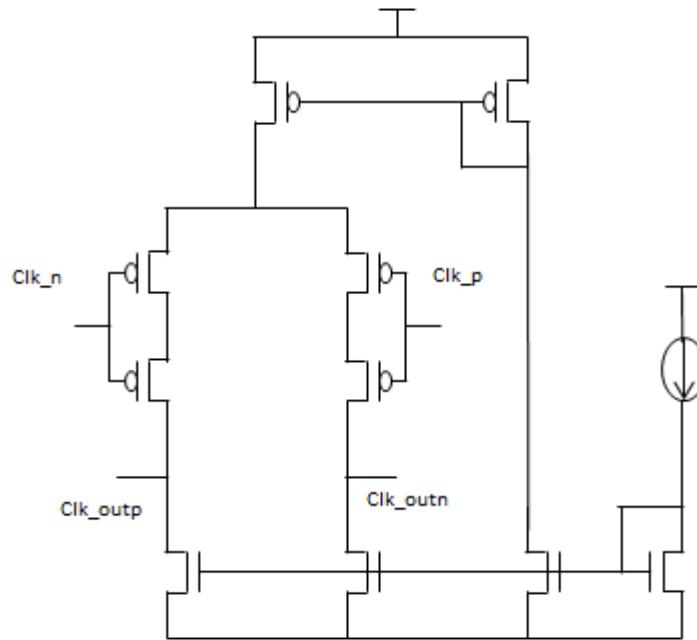


Рис. 5 – Дифференциальный усилитель

Выходы дифференциального усилителя контролируют фазовый сдвиг, что бы получить на выходе идеальный дифференциальный сигнал. Выходы дифференциального усилителя уменьшают или увеличивают коэффициент заполнения сигнала. Выходной каскад генератора синхросигнала исправляет фазовый сдвиг дифференциального синхросигнала. Дифференциальный выход генератора синхросигнала уже можно использовать для высокоскоростных АЦП.

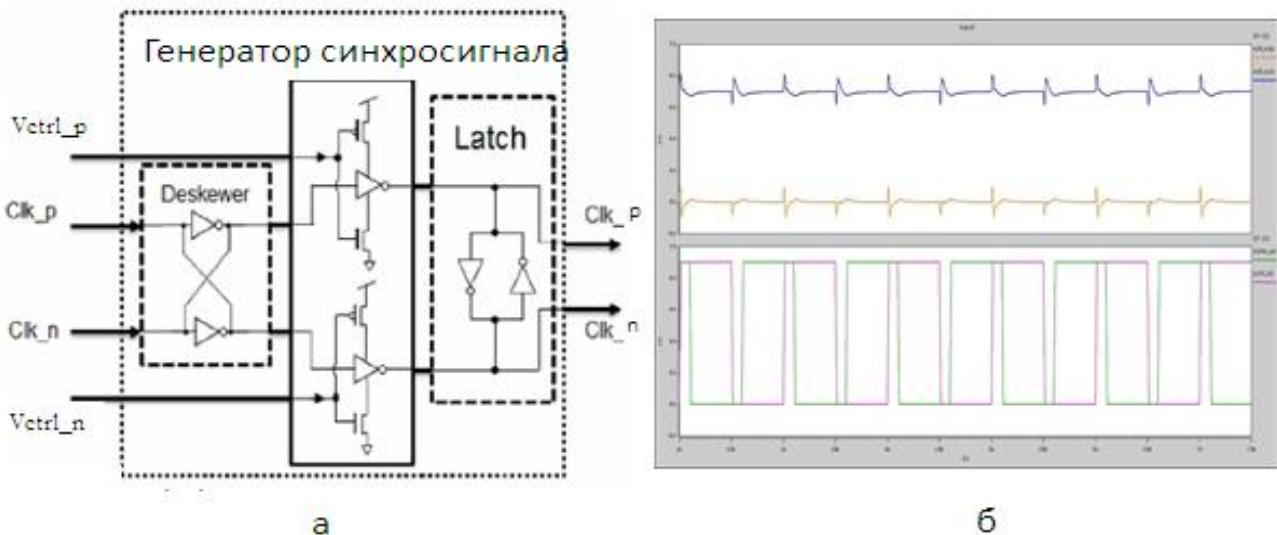


Рис. 6 –*a* – схема генератора синхросигнала; *б* – сигналы на входах

Моделирование схемы было сделано с помощью Hspice [6 С. 196] симулятора. Спроектирован конвейерный АЦП для 16нм FinFet технологии. Были учтены особенности FinFet технологии. Схема смоделирована с вариации процесса, напряжения и температуры. Разница точки пересечения дифференциального сигнала 22mВ, в SS процессе с минимальным напряжением, когда на входе разница точки пересечения 100пс. Частота входного сигнала 1000МГц. Это максимальная частота конвейерного АЦП. Как показано на рис. 6 с разницей 100пс выходной дифференциальный сигнал получается почти идеальным. Предложенный метод не добавляет фазового дрожания синхросигнала. Так как, на выходе используется генератор синхросигнала, который контролируется с помощью дифференциального усилителя, фазовое дрожание синхросигнала не увеличивается.

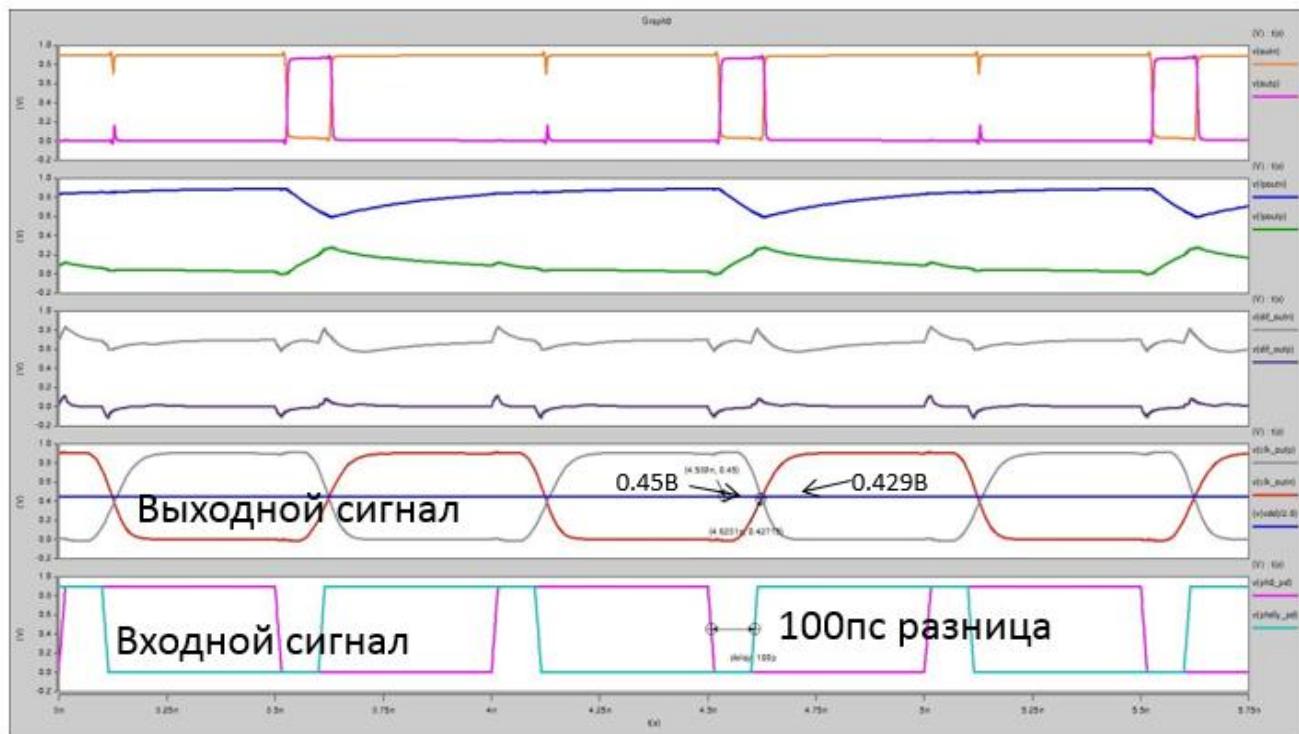


Рис. 7 – Результаты моделирования

На Рис. 8 а) результаты моделирования без исправления дифференциального сигнала, а на рис. 7 б) с исправлением дифференциального сигнала. Доказано (Рис. 7), что после исправления дифференциального сигнала, отношение сигнал-шум-плюс-искажение (SNDR) улучшается с 62 дБ до 94 дБ, динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR) улучшается с 70 дБ до 120 дБ. Тем самым увеличивается помехоустойчивость АЦП более 30%.

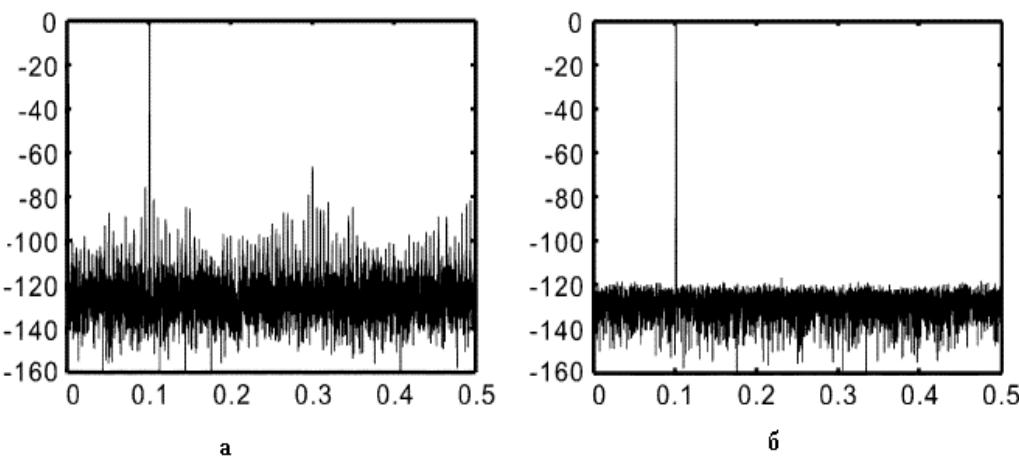


Рис. 8 – Результат помехоустойчивости АЦП

Схема исправления дифференциального синхросигнала была спроектирована для исправления фазового сдвига синхросигнала в конвейерных АЦП. Результаты моделирования показали, что схема эффективно исправляет фазовый сдвиг. На выходе схемы разница точки пересечения дифференциального синхросигнала получается менее 22мВ, что для Конвейерного АЦП является незначительным, так как максимальная частота конвейерного АЦП 1000МГц. Помехоустойчивость конвейерного АЦП увеличивается более 30%, что дает возможность обработать аналоговый сигнал и преобразовать его в цифровой сигнал без ошибок.

Предлагаемая схема увеличивает площадь АЦП 7-8%, что приемлемо. Мощность конвейерного АЦП с использованием перемогаемого метода увеличивается 14% (с 14мВт 16мВт). Так как в интегральной схеме используется один АЦП, то 14% увеличение мощности приемлемо.

Список литературы / References

1. Экимян А. Р. Повышение помехоустойчивости аналого-цифровых преобразователей конвейерного типа / А. Р. Экимян // Микроэлектроника и информатика –2015. – М.: МИЭТ, 2015. – С. 113.
2. Экимян А. Р. Метод исправления дифференциального синхросигнала в конвейерных АЦП / А. Р. Экимян // Потенциал Современной Науки – 2016 — № 8 – С. 16 – 20.
3. Hekimyan A. High Accuracy Pipelined ADC Design for Wireless LANs / A. Hekimyan, D. Bulakh, A. Sahakyan // 2015 Internet Technologies and Applications (ITA), September — 2015 — Glyndwr University, Wrexham, Wales, UK. – P. 310 – 313.
4. Razavi B. Design of Analog CMOS Integrated Circuits / B. Razavi – New York, NY, USA, 2001 – P. 465 – 471.
5. McNeill J. Architecture for Deterministic Digital Background Calibration of a 16- bit 1-MS/s ADC / J. McNeill, M. Coln, B. Larivee // IEEE J. Solid-State Circuits. – 2005. – № 12. – P. 2437 – 2445.
6. Hspice Руководство по применению, Синопсис, 2010. – С. 196.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Hekimyan A. R. Povishenie pomehoustoystchivosti analogo-cifrovikh preobrazovateley konveyernogo tipa [Increase noise immunity in pipeline ADCs] / A.R. Hekimyan // Mikroelektronika I informatika [Microelectronics and Nanoelectronics] – M.: MIET 2015 – P. 113. [in Russian]
2. Hekimyan A. R. Metod ispravlenija differencial'nogo sinhrosignalja v konvejernyh ACP [Method of correcting differential clock in pipeline ADC] / A. R. Hekimyan // Potencial Sovremennoj Nauki [Potential Modern Science]. – 2016 – № 8 – P. 16-20. [in Russian]
3. Hekimyan A. High Accuracy Pipelined ADC Design for Wireless LANs / A. Hekimyan, D. Bulakh, A. Sahakyan // 2015 Internet Technologies and Applications (ITA), September — 2015 — Glyndwr University, Wrexham, Wales, UK. – P. 310 – 313.
4. Razavi B. Design of Analog CMOS Integrated Circuits / B. Razavi — New York, NY, USA. –2001. – P. 465 – 471.
5. McNeill J. Architecture for Deterministic Digital Background Calibration of a 16- bit 1-MS/s ADC / J. McNeill, M. Coln, B. Larivee // IEEE J. Solid-State Circuits. – 2005. – № 12. – P. 2437 – 2445.
6. Hspice Rukovodstvo po primenjeniju [Application Manual] Synopsys Inc. – 2010. 196 p. [in Russian]