

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки.

Технология продовольственных продуктов.

Информатика, вычислительная техника и управление.

05(33)/2016

Пенза
ПензГТУ
2016

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс»:
Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.
технол. ун-та, 2016. – №05(33). – 144 с.

Решением Президиума ВАК при Минобрнауки России № 8/13 от 2
марта 2012 г. журнал включен в Перечень рецензируемых научных
журналов и изданий для опубликования основных научных
результатов диссертаций.

Журнал зарегистрирован как периодическое печатное издание в
Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций по
Пензенской области ***ПИ № ТУ 58 – 00243 от 27 апреля 2015 года***



ISSN 2221-951X © Пензенский государственный технологический университет, 2016

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Penza State Technological University

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

**"XXI century: Resumes of the Past
and Challenges of the Present _{plus}"**

Scientific Periodical

**Series: Engineering Sciences.
Information Science, Computing Devices and Controlling.
Food Technology.**

05(33)/2016

**Penza
PenzSTU
2016**

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL
JOURNAL

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PenzSTU Publishing House, 2016. – № 04(32). – 144 p.

The journal is included in the List of reviewed scientific journals and editions for publishing principal scientific theses results approved by the Resolution of the Presidium of the Supreme Certification Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (№ 8/13, March 2nd, 2012).

The journal is registered as periodic printed publication at the Department of the Federal Control Service for Communication, Information Technologies and Mass Communication in the Penza region
ИИ № ТУ 58 – 00243 April, 27th, 2015



ISSN 2221-951X © Penza State Technological University, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	10
© <i>П.Ю. Волков</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
© <i>В.В. Зверева</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
© <i>А.В. Кравцов</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА....	15
© <i>В.В. Голубовский</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
© <i>А.В. Кравцов</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА РЫБОРАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ЗАДАННОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ.....	20
© <i>О.В. Гончарук</i> , Дальневосточный государственный аграрный Университет (г. Благовещенск, Россия)	
© <i>С.М. Доценко</i> , Дальневосточный государственный аграрный Университет (г. Благовещенск, Россия)	
© <i>Ю.А. Гужель</i> , Амурский государственный Университет (г. Благовещенск, Россия)	
© <i>А.Н. Бредихин</i> , Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище (г. Благовещенск, Россия)	
© <i>С.А. Голованов</i> , Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище (г. Благовещенск, Россия)	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ПИЩЕВЫХ МАШИН.....	28
© <i>М.В. Донцова</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
© <i>А.Д. Нелюдов</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПО НАКЛОННЫМ ЛОПАСТЯМ
БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ..... 34**

© **В.В. Коновалов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **В.Ю. Зайцев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Н.В. Димитриев**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **А.В. Чупишев**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **В.П. Терюшков**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
НАПРАВЛЕННОГО ИК ЭНЕРГОПОДВОДА..... 43**

© **Д.А. Мартяшина**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ОБОСНОВАНИЕ ДЛИНЫ ЛОПАТОК ЛОПАСТНОГО
СМЕСИТЕЛЯ..... 47**

© **М.В. Фомина**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **В.В. Коновалов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **В.П. Терюшков**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **А.В. Чупишев**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

**МЕТОДОЛОГИЯ В ПРОЦЕССАХ
ОРГАНИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ..... 53**

© **Е.А. Аксенова**, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)

© **В.В. Зверева**, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ..... 58**

© **Е.А. Аксенова**, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)

© **В.В. Зверева**, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ..... 63**

© **М.И. Вольников**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **В.Ю. Зайцев**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **В.В. Бурков**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**МЕМБРАННЫЕ МЕТОДЫ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ
АМИНОКИСЛОТ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ..... 71**

© **В.А. Лазарев**, Уральский государственный экономический
университет, (г. Екатеринбург, Россия)

© **Г.Б. Пищиков**, Уральский государственный экономический
университет, (г. Екатеринбург, Россия)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ
ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 76**

© **А.Д. Нелюдов**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **М.В. Донцова**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**НОВЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ
СИСТЕМ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ И ВРЕМЕННОЙ
ИЗБЫТОЧНОСТИ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ
ЕМКОСТИ ДАТЧИКОВ..... 82**

© **П.И. Артамонов**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **Е.С. Дементьева**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **А.А. Кузьмин**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ
ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ
ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СИГНАЛ... 89**

© **П.И. Артамонов**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **Б.Л. Свистунов**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

© **Е.С. Дементьева**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРОГРАММЕ AIMDSS.....	99
© <i>А.А. Гусев, Кубанский государственный университет</i> (г. Краснодар, Россия)	
© <i>Н.А. Швецова, Кубанский государственный университет</i> (г. Краснодар, Россия)	
© <i>А.Э. Волошин, Конструкторское бюро «Селена»</i> (г. Краснодар, Россия)	
© <i>Н.А. Яковенко, Кубанский государственный университет</i> (г. Краснодар, Россия)	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ.....	104
© <i>Е.А. Дементьев, Пензенский государственный технологический университет</i> (г. Пенза, Россия)	
© <i>Е.С. Дементьева, Пензенский государственный технологический университет</i> (г. Пенза, Россия)	
© <i>В.Н. Прошкин, Пензенский государственный технологический университет</i> (г. Пенза, Россия)	
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ТАРГЕТ-ОРИЕНТИРОВАННУЮ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ РЕКЛАМНУЮ БИРЖУ.....	109
© <i>Л.А. Исмаилова, Уфимский государственный авиационный технический университет</i> (г. Уфа, Россия)	
© <i>И.А. Сатаева, Уфимский государственный авиационный технический университет</i> (г. Уфа, Россия)	
ВИБРАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ УИТК.....	116
© <i>А.А. Папко, Научно-исследовательский институт физических измерений</i> (г. Пенза, Россия)	
© <i>А.В. Поспелов, Научно-исследовательский институт физических измерений</i> (г. Пенза, Россия)	
© <i>С.И. Торгашин, Научно-исследовательский институт физических измерений</i> (г. Пенза, Россия)	
ПОДСИСТЕМА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ И АНАЛИЗА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ОСНОВЕ БИБЛИОТЕКИ EMLIB.....	121
© <i>М.В. Тамьярова, Самарский государственный технический университет</i> (филиал в г. Сызрань, Россия)	
© <i>А.А. Легков, Ивановский государственный энергетический университет</i> (г. Иваново, Россия)	
© <i>А.И. Тихонов, Ивановский государственный энергетический университет</i> (г. Иваново, Россия)	

**КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ В ЗАДАЧАХ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
ЯРКОСТНЫХ СЦЕН ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ..... 128**

© **Р.В. Шестов**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)

© **А.А. Шкромадо**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)

© **Е.А. Шумилов**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)

© **Ю.О. Савельева**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

**УПРАВЛЕНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕМ
ТЕХНОЛОГИИ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ..... 135**

© **И.В. Куликова**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**К ВОПРОСУ О МАШИННОМ ПЕРЕВОДЕ:
СТАТИСТИЧЕСКИЙ МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД..... 139**

© **О.Н. Ясаревская**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

УДК 681.532.1

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

© *П.Ю. Волков, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Зверева, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

© *А.В. Кравцов, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

IMPROVED ACCURACY OF ELECTRO-HYDRAULIC MECHATRONIC MODULES OF THE EQUIPMENT FOR MANUFACTURE OF MACHINE PARTS IN FOOD PRODUCTION

© *P.J. Volkov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *V.V. Zvereva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *A.V. Kravtsov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены способы повышения точности электрогидравлических мехатронных модулей. Основное внимание уделяется использованию магнитострикционных электромеханических преобразователей.

Ключевые слова: мехатронные электрогидравлические модули, точность, оборудование пищевого производства.

The article considers the ways of improving the accuracy of electro-hydraulic mechatronic modules. Focuses on the use of magnetostrictive Electromechanical transducers.

Key words: mechatronic electro-hydraulic modules, accuracy, equipment of food production.

E-mail: volkovpav@yandex.ru.

Электрогидравлические системы автоматического управления (ЭГСАУ) и модули на их основе получили широкое распространение в металлорежущих станках и прочем обрабатывающем оборудовании. Подобные системы широко используются для формообразования и поддержания стабильных параметров качества изделий самого широкого профиля, в том числе деталей и узлов оборудования для пищевого производства.

Применительно к приводам главного движения технологического оборудования, ЭГСАУ получили наибольшее распространение в электроэрозионных станках, где их основная задача – поддерживать постоянной величину межэлектродного зазора.

Структурная схема типовой следящей ЭГСАУ такого станка изображена на рисунке 1.

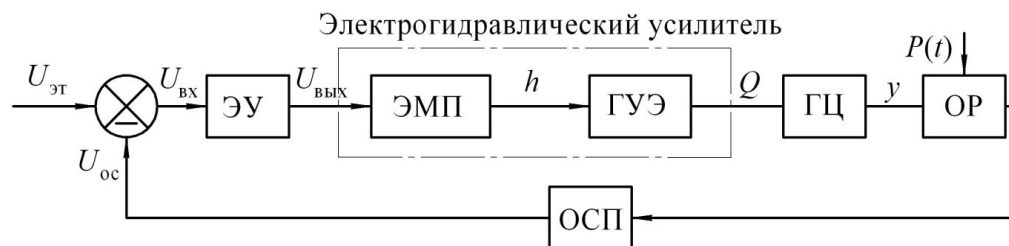


Рисунок 1 – Структурная схема ЭГСАУ. ЭУ – электронный усилитель; ЭМП – электромеханический преобразователь; ГУЭ – гидравлический усилительный элемент; ГЦ – исполнительный гидроцилиндр; ОР – объект регулирования; ОСП – обратная связь по положению.

Система управления работает следующим образом. Сигнал рассогласования $U_{\text{ВХ}}$, полученный как разность эталонного напряжения $U_{\text{ЭТ}}$ и сигнала обратной связи $U_{\text{ОС}}$, поступает на электронный усилитель ЭУ, который усиливает его до некоторого значения $U_{\text{ВЫХ}}$ на обмотках электромеханического преобразователя ЭМП. В электромеханическом преобразователе электрический сигнал преобразуется в механическое перемещение h якоря ЭМП, положение которого определяет расход Q жидкости протекающей через гидравлический усилительный элемент ГУЭ, а значит и перемещение y штока исполнительного элемента ГЦ и объекта регулирования ОР. Возмущающие воздействия $P(t)$ вызывают отклонение объекта регулирования ОР от заданного положения, что приводит к появлению сигнала ошибки на входе в систему и коррекции отслеживаемой величины.

Поскольку компьютеризация технологического оборудования приобретает повсеместный характер, то в последнее время наметилась тенденция обособления отдельных узлов ЭГСАУ в модули с дистанционным цифровым управлением. В этой связи уместно говорить о появлении мехатронных электрогидравлических модулей [4].

К достоинствам подобных электрогидравлических устройств относят их долговечность (за счет самосмазываемости узлов), значительные тяговые усилия, хорошую демпфирующую способность, а также дешевизну. Однако наличие преобразование энергии из одного типа в другой (причем многократное в рамках системы управления в целом) снижает показатели качества электрогидравлических модулей. В свою очередь, это сужает область применения электрогидравлических мехатронных модулей, по сравнению с аналогичными электромеханическими устройствами. Учитывая, что стоимость электромеханических мехатронных модулей для обрабатывающего оборудования может в 2-10 раз превосходить, стоимость электрогидравлических устройств, повышение точности и быстродействия электрогидравлических модулей представляет собой актуальную задачу.

Наиболее распространенным подходом среди попыток повысить показатели качества электрогидравлических мехатронных модулей, является совершенствование элементной базы. Как правило, в качестве модернизируемого элемента выступают электромеханические преобразователи или электрогидравлические усилители (или распределители).

Так, например, в работах [2, 5–6] автором была предпринята попытка заменить обычный электромеханический преобразователь магнитострикционным. Полученная в результате этого конструкция магнитострикционного электрогидравлического усилителя позволила сделать перемещение заслонки нечувствительным к колебаниям рабочей жидкости. В результате проведенных экспериментов было установлено, что быстродействие разработанной электрогидравлической ЭГСАУс магнитострикционным электрогидравлическим усилителем составляет 0,020–0,027 с, что в 1,4 раза выше, чем у известных систем управления на базе типовых электрогидравлических усилителей.

Однако, величина магнитострикционной деформации мала, к тому же вследствие тепловых деформаций исполнительного элемента пришлось усложнить его форму, что отрицательно сказалось на габаритах.

Очень интересной представляется попытка заменить типовой электромеханический преобразователь магнитоожидкостным устройством, как это показано в работе [7], однако и в этом случае повышение эксплуатационных характеристик электрогидравлического мехатронного модуля будет «упираться» в своеобразный «потолок». Дело в том, что обзор технологических возможностей современного обрабатывающего оборудования позволяет сделать вывод о достижении предела технологических возможностей по изготовлению отдельных элементов преобразователей и усилителей ЭГСАУ. Поэтому улучшение показателей элементной базы не дает существенного повышения показателей качества в целом. Кроме того в любой ЭГСАУ самым низким быстродействием обладает исполнительный орган (например, гидроцилиндр), который из-за своей инерционности снижает эффект от применения более совершенных промежуточных элементов.

По мнению автора исполнительный гидроцилиндр следует модернизировать таким образом, чтобы при минимальном вмешательстве в конструкцию повысить точность и быстродействие, а также иметь возможность дистанционного цифрового управления данным мехатронным модулем. Поставленная цель достигается в работах [8–11], за счет непосредственного преобразования подводимой энергии в механическую деформацию магнитострикционного элемента и перемещение соединенного с ним объекта позиционирования.

Суть предлагаемого подхода заключается в размещении внутри полого штока гидроцилиндра магнитострикционного преобразователя, к которому крепится объект позиционирования. Для пояснения этой идеи рассмотрим устройство шпиндельного узла копировально-прошивочного станка 4К722АФ1 (рисунок 2) [2].

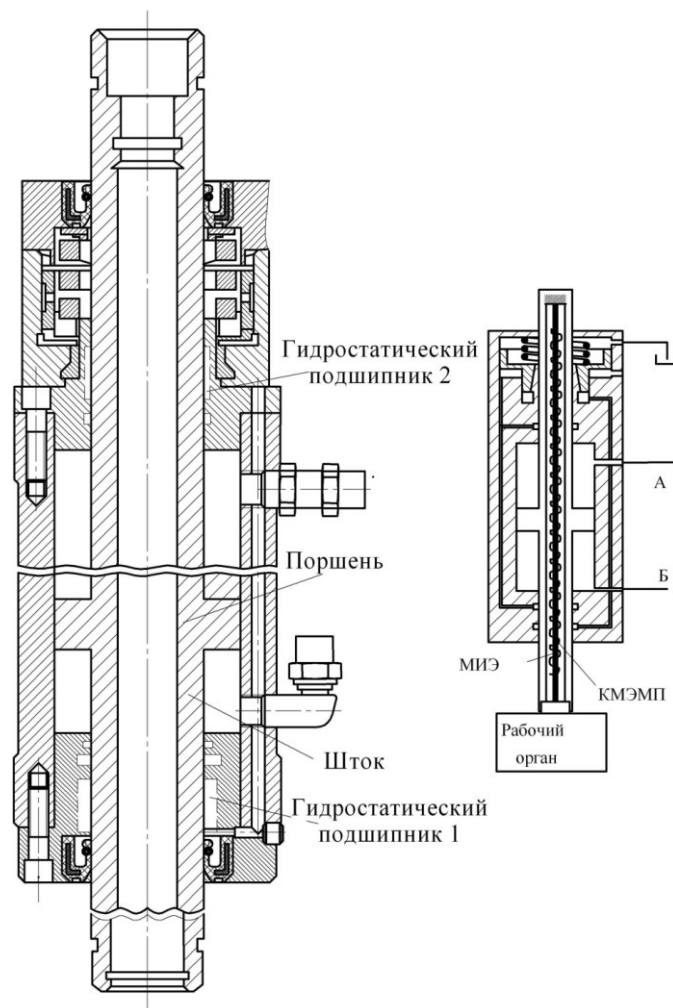


Рисунок 2 – Исполнительный гидроцилиндр с магнитострикционным преобразователем

Из рисунка видно, что внутри штока гидроцилиндра расположено технологическое отверстие. Через это отверстие пропускается тяга, на которой крепится электрод-инструмент, осуществляющий электроэрозионную обработку. Тяга представляет собой шпильку с двумя резьбовыми концами, на одном из которых крепится гайка, не позволяющая электроду отделиться от штока, а на втором резьбовом конце закреплен непосредственно электрод инструмент. Поскольку тяга изготовлена из стали, то ее вполне можно заменить магнитострикционным элементом из металлического материала, например пермендюра49КФ. Размеры технологического отверстия в штоке вполне достаточны, чтобы разместить в нем магнитострикционный исполнительный элемент и обмотку корректирующего магнитострикционного преобразователя (КМЭМП).

Магнитострикционный исполнительный элемент (МИЭ) в этом случае будет выполнять две функции: служить креплением электрода-инструмента и осуществлять высокоточные перемещения рабочего органа при работе на малых зазорах. При массе электрода в 30 кг на МИЭ будет действовать растягивающая нагрузка 300 Н. Поскольку у пермендюра константа магнитострикции

положительна, то подобные нагрузки способны в 1,1-1,3 раза увеличить магнито-стрикционную деформацию [2].

В результате экспериментов по методике [11] установлено, что при массе электрода инструмента 10 кг отработка перемещения 0,05 мм осуществлялась основным контуром с быстродействием $t_{\text{ПП}} = 0,027$ с, а корректирующим за интервал времени $t_{\text{ПП}} = 0,008$ с. При этом корректирующий контур имеет перерегулирование 25,4%.

При массе инструмента 30 кг длительность переходного процесса в корректирующем контуре уменьшилась до $t_{\text{ПП}} = 0,006$ с, в основном контуре возросла до $t_{\text{ПП}} = 0,035$ с. Использование подобной конструкции мехатронного электрогидравлического модуля позволяет осуществить с помощью магнито-стрикционного преобразователя перемещения внутри зоны нечувствительности гидравлического контура и представляется весьма перспективным.

Разумеется, этим способы повышения точности и прочих характеристик не исчерпываются. Целесообразным представляется использование более совершенных адаптивных регуляторов и алгоритмов управления, как это показано, например, в работе [12].

Список литературы

1. Редько П.Г. Повышение безотказности и улучшение характеристик электрогидравлических следящих приводов. М.: Янус-К, ИЦМГТУ «Станкин», 2002. – 232 с.
2. Волков П.Ю. Повышение качества электрогидравлических систем автоматического управления промышленным оборудованием. Автореферат дисс. кандидата технических наук, спец. 05.13.06, 05.13.05. Пенза, 2009 с.
3. Разинцев В.И. Повышение эффективности гидроприводов с дроссельным регулированием. М.: Машиностроение, 1993. – 320 с.
4. Ваишевич О.В. Разработка и исследование мехатронных электрогидравлических модулей для систем рулевых приводов с децентрализованной архитектурой : Диссертация кандидата технических наук. Санкт-Петербург , 2009 - 108 с.
5. Патент № 2293888 (РФ) F15B 3/00. Магнито-стрикционный электрогидравлический усилитель / Волков П.Ю., Демин С.Б. // Заявитель и патенто-обладатель Пензенский государственный университет. Заявл. 31.05.2005. Оpubл. 20.02.07, Бюл. № 5. – 2007.
6. Волков П.Ю. Магнито-стрикционные электромеханические преобразователи гидрофицированного технологического оборудования. В сборнике II Международной научно-технической конференции «Проблемы исследования и проектирования машин». Пенза: 2006. – с. 51-53.
7. Власов В.В. Векторно-энергетический синтез электрогидравлических усилителей мощности. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1990. – 120 с.
8. Кравцов А.В. Повышение качества процесса копировально-прошивочной электроэрозионной обработки с помощью корректирующих магнито-стрикционных преобразователей. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов». Юго-Западный гос. Ун-т, Курск, 2015. С. 182-186.

9. Волков П.Ю., Бен М.Р. Математическая модель корректирующего магнитострикционного преобразователя для электрогидравлических систем автоматического управления. В сборнике научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы автоматизации и управления в энергетике и машиностроении». Пенза.: 2015. – С. 6-13.
10. Волков П.Ю., Бен М.Р., Башари Е.Р., Колодяжный М.В. Математическая модель прецизионной электрогидравлической системы автоматического управления. В сборнике научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы автоматизации и управления в энергетике и машиностроении». Пенза.: 2015. – С. 14-22.
11. Ланищиков А.В., Кравцов А.В. Обработка экспериментальных данных. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2015. № 2 (24). С. 35-39.
12. Коновалова И.И., Селезнёва С.В., Коновалов А.Н., Бормотов А.Н. Алгоритм настройки адаптивных регуляторов. Журнал «В мире научных открытий». № 6 (42) Красноярск: 2103, с. 22-33.

УДК 62-551

**ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

© **В.В. Голубовский**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.В. Кравцов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**AN OVERVIEW OF THE MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT
OF EDM FOR MACHINING OF FOOD PRODUCTION EQUIPMENT**

© **V.V. Golubovsky**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **A.V. Kravtsov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрены особенности развития электроэрозионных станков для обработки деталей оборудования пищевого производства. Основное внимание уделяется приводам подачи электрода-инструмента копировально-прошивочных электроэрозионных станков.

Ключевые слова: детали, оборудование пищевого производства, электроэрозионная обработка, привод подачи электрода-инструмента.

The article reviews the features of development EDM machines for machining of food production equipment. The focus is on the feed drives of the electrode-tool profile-connecting EDM.

Key words: details, food production equipment, electrical discharge machining, the drive of the feed of the electrode tool.

E-mail: v.golubovsky@yandex.ru.

Развитие технологий современного пищевого производства обуславливает необходимость использования всё более сложных форм деталей соответствующего оборудования. Помимо этого материалы, которые применялись в оборудовании пищевого производства десятилетиями, начинают заменяться новыми сплавами, зачастую требующими принципиально иной технологии формообразования.

Одной из таких технологий является электроэрозионная обработка (ЭЭО), суть которой заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии [1]. Наиболее распространенная схема формообразования при ЭЭО показана на рисунке 1.

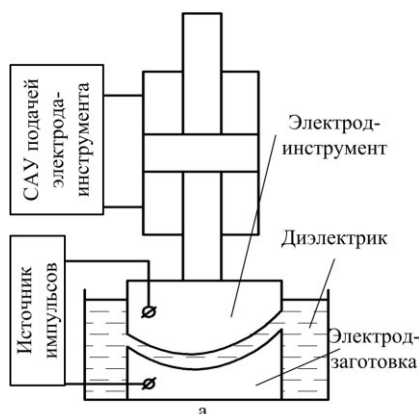


Рисунок 1 – Схема формообразования при копировально-прошивочной ЭЭО

Электрод-инструмент вместе с электродом-заготовкой помещают в ванну, заполненную диэлектриком (например, дистиллированной водой), и подключают к источнику импульсов, при этом рабочую жидкость нагнетают в боковой зазор, чтобы осуществлялась эвакуация шлама из зоны обработки.

Анализ параметров технологических режимов ЭЭО показывает, что величина межэлектродного зазора может быть весьма мала, и измеряется микрометрами. В таких условиях возникает необходимость высокоточного управления величиной зазора с помощью специального привода.

Первыми в качестве автоматических регуляторов межэлектродного зазора стали использовать электрогидравлические приводы, в которых электрический сигнал после многократных преобразований трансформировался механическое перемещение штока исполнительного гидроцилиндра, к которому был присоединен электрод-инструмент. Подобные приводы отличаются дешевизной, долговечностью и значительными тяговыми усилиями. Основные тенденции их развития заключаются в повышении точности позиционирования и быстродействия.

Так, известна попытка повысить точность позиционирования электрода-инструмента [2-4] используя магнитострикционный электрогидравлический преобразователь с П-образным исполнительным элементом. Такая форма магнитострикционного элемента позволяет исключить влияние тепловых деформаций, однако само устройство имеет значительные габариты. Кроме того, самым инерционным звеном любой электрогидравлической системы является исполнительный орган (в данном случае – гидроцилиндр), и он играет роль фильтра сглаживающего высокие частоты. В этой связи значительного выигрыша по быстродействию достигнуто не было.

Другой подход, рассмотренный в работах [2,5-7] заключается в том, что электрод-инструмент позиционируется с помощью двух регуляторов: электрогидравлического и магнитострикционного (рисунок 2).

Внутри сквозного отверстия в штоке исполнительного гидроцилиндра установлен корректирующий магнитострикционный преобразователь, состоящий из управляющей обмотки и стержня из магнитострикционного материала. Верхний конец стержня зафиксирован в штоке, к нижнему подвешен объект позиционирования (например – электрод инструмент).

При подаче управляющего электрического сигнала в обмотку магнитострикционного преобразователя, исполнительный элемент последнего меняет свои линейные размеры (удлиняется), осуществляя малые перемещения исполнительного органа, которые находятся в внутри зоны нечувствительности основного контура системы управления.

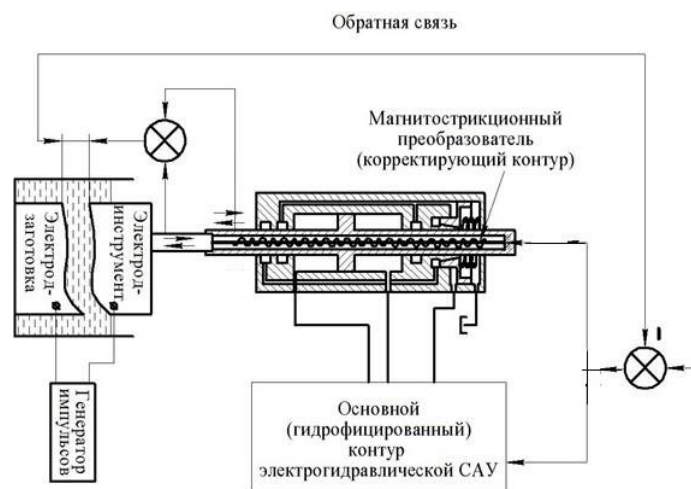


Рисунок 2

Большие перемещения обрабатываются электрогидравлическим приводом традиционной компоновки. Микроперемещения реализуются с помощью магнитострикционного преобразователя, расположенного внутри основного контура. К достоинствам предлагаемой конструкции можно отнести минимальное количество промежуточных звеньев между рабочим органом и источником энергии. Это обеспечивает высокую точность позиционирования и быстродействие системы.

Анализ источников литературы [1], позволяет утверждать, что развитие современных приводов станков для ЭО идет по пути внедрения и дальнейшего совершенствования электромеханических приводов, в которых подводимая электрическая энергия непосредственно преобразуется в перемещение электрода-инструмента.

В настоящее время наиболее широко распространены модели станков для ЭО, в которых используется электромеханический привод. Такие устройства представляют собой сочетание регулируемого электродвигателя, муфты и передачи винт-гайка качения. К гайке присоединен, перемещающийся по направляющим шпиндель станка, к которому, в свою очередь, крепится электрод инструмент. Однако в таких конструкциях требуется использовать устройства для выборки зазора в передаче винт-гайка, что несколько усложняет конструкцию.

На данный момент наиболее совершенными конструкциями приводов станков для ЭЭО, являются линейные электромагнитные приводы наиболее характерными представителями которых, являются изделия фирмы Sodick. Схема такого привода показана на рисунке 2[8].

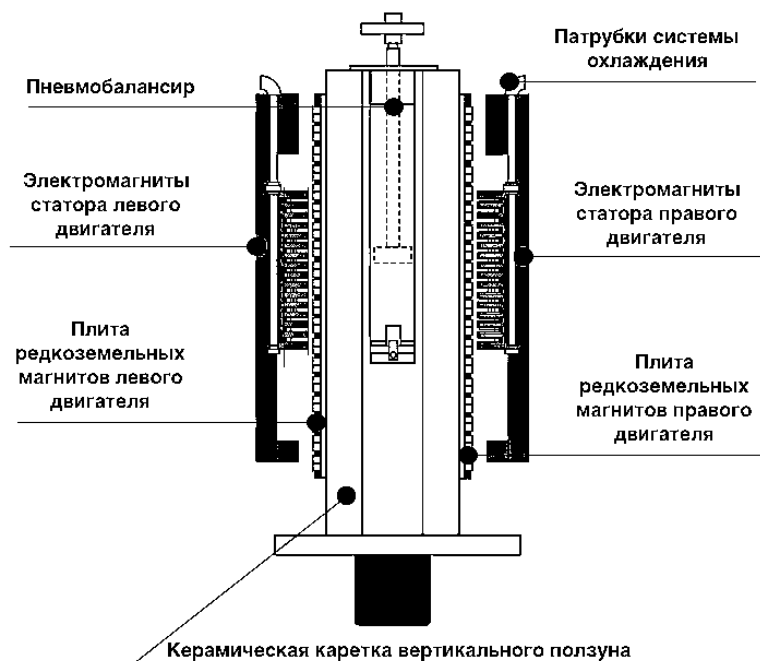


Рисунок 3 – Конструкция линейного электромагнитного привода фирмы Sodick

Редкоземельные магниты ротора (в сдвоенном исполнении) подвешены в электромагнитном поле, создаваемом обмотками статора. Управляя индукцией поля в статоре можно вызвать перемещения узла с электродом инструментом, непосредственно преобразуя подаваемое напряжение в механическое перемещение. Для того, чтобы исключить возможность аварийной ситуации при отключении питания, в конструкции предусмотрен быстродействующий пневмобалансир [8].

Колоссальным преимуществом такого типа приводов является непосредственное преобразование подводимой энергии в перемещение рабочего органа (отсутствуют промежуточные элементы). Ошибка позиционирования в устройствах подобного типа, по данным фирмы-изготовителя, составляет ± 50 нанометров.

Очень интересным и перспективным направлением развития ЭЭО представляется комбинирование традиционного процесса ЭЭО с воздействием на зону обработки ультразвука и иных факторов, меняющих протекание процесса формообразования[1].

В заключение следует отметить, что сама физическая природа процесса ЭЭО открывает широчайшие возможности для его использования не только при изготовлении деталей оборудования пищевых производств, но и в машиностроении, авиационной и космической технике и многих других областях.

Список литературы

1. Серебrenицкий П. П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование. Москва, Изд-во Лань, 2013 – 352 с.
2. Волков П.Ю. Повышение качества электрогидравлических систем автоматического управления промышленным оборудованием. Автореферат дисс. кандидата технических наук, спец. 05.13.06, 05.13.05. Пенза, 2009.
3. Патент № 2293888 (РФ) F15B 3/00. Магнитострикционный электрогидравлический усилитель / Волков П.Ю., Демин С.Б. // Заявитель и патентообладатель Пензенский государственный университет. Заявл. 31.05.2005. Опубл. 20.02.07, Бюл. № 5. – 2007.
4. Волков П.Ю. Магнитострикционные электромеханические преобразователи гидрофицированного технологического оборудования. В сборнике II Международной научно-технической конференции «Проблемы исследования и проектирования машин». Пенза: 2006. – с. 51-53.
5. Кравцов А.В. Повышение качества процесса копировально-прошивочной электроэрозионной обработки с помощью корректирующих магнитострикционных преобразователей. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов». Юго-Западный гос. Ун-т, Курск, 2015. С. 182-186.
6. Волков П.Ю., Бен М.Р. Математическая модель корректирующего магнитострикционного преобразователя для электрогидравлических систем автоматического управления. В сборнике научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы автоматизации и управления в энергетике и машиностроении». Пенза.: 2015. –С. 6-13. Волков П.Ю., Бен М.Р., Башари Е.Р., Колодяжный М.В. Математическая модель прецизионной электрогидравлической системы автоматического управления. В сборнике научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы автоматизации и управления в энергетике и машиностроении». Пенза.: 2015. – С. 14-22.
7. Симанин Н.А., Мамаев Д.С. Перспективные способы модернизации станков для электроэрозионной обработки. В сборнике научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы автоматизации и управления в энергетике и машиностроении». Пенза.: 2015. – С. 108-118.

УДК 664.8 (031)

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА
РЫБОРАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ЗАДАННОГО
СОСТАВА И СВОЙСТВ**

- © **О.В. Гончарук**, Дальневосточный государственный аграрный
Университет (г. Благовещенск, Россия)
© **С.М. Доценко**, Дальневосточный государственный аграрный
Университет (г. Благовещенск, Россия)
© **Ю.А. Гузель**, Амурский государственный
Университет (г. Благовещенск, Россия)
© **А.Н. Бредихин**, Дальневосточное высшее общевойсковое командное
училище (г. Благовещенск, Россия)
© **С.А. Голованов**, Дальневосточное высшее общевойсковое командное
училище (г. Благовещенск, Россия)

**RATIONALE FOR TECHNOLOGY AND MODES OF PRODUCTION
RYBORASTITELNYH FOOD SPECIFIED COMPOSITION
AND PROPERTIES**

- © **O.V. Goncharuk**, Far Eastern State Agrarian University
(Blagoveshchensk, Russia)
© **C.M. Dotsenko**, Far Eastern State Agrarian University (Blagoveshchensk, Russia)
© **Y.A. Guzhel**, Amur State University (Blagoveshchensk, Russia)
© **A.N. Bredikhin**, Far Eastern Military Command School (Blagoveshchensk, Russia)
© **S.A. Golovanov**, Far Eastern Military Command School (Blagoveshchensk, Russia)

Статья посвящена вопросам направленным на решение задач, связанных с концепцией здорового питания, с разработкой продуктов заданного состава и свойств. В соответствии с разработанными биотехнологическими подходами обоснована возможность и целесообразность производства рыборастительных фаршевых, пастовых и паштетных продуктов питания, содержащих комплементарный белок, а также совокупность биологически активных веществ, образующих антиоксидантные комплексы.

Ключевые слова: соевое сырье, рыбное сырье, технология, биотехнология, белково-витаминный продукт, рыборастительный продукт.

Article is devoted to addressing problems associated with the concept of a healthy diet, with the development of a given composition and properties of the products. In accordance with the developed biotechnological approaches demonstrated the possibility and feasibility of the production of minced ryborastitelnyh, pashtetnyh of paste and foods containing the complementary protein, as well as a set of biologically active substances that make up the antioxidant complexes.

Key words: soybean raw fish raw materials, technology, biotechnology, protein-vitamin product ryborastitelnyh product.

E-mail: G-Yuliy-85@mail.ru; goncha-oksana@yandex.ru

В качестве основных задач государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации до 2020 г. предусмотрено расширение отечественного производства основных видов продовольственного сырья, отвечающего современным требованиям качества и безопасности, развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, а также разработка и внедрение в пищевую промышленность инновационных технологий, включая био- и нанотехнологии [1, с 3]. Поставленная совокупность задач вполне выполнима в условиях Дальневосточного региона, так как в Амурской области

производится в достаточном количестве для пищевой отрасли соевое зерно и корнеплоды, а в Приморский край обеспечивает страну рыбным сырьем.

Данная продукция относится к ценным видам сырья, так как содержит физиологически функциональные пищевые ингредиенты, применение которых в достаточных количествах, равных 15-50% от рекомендуемой суточной нормы потребления (РСНП), обеспечивает эффект поддержания иммунной системы путем иммуннокорректирующего действия [2,3].

В то же время, комплексное использование данных видов сырья в пищевой технологии может обеспечить возможность получения новых форм белковой пищи (Толстогузов В.Б. и др.) [4, с.156].

Целью исследований является разработка биотехнологии пищевых продуктов функциональной направленности с использованием соевого, морковного и рыбного сырья.

В этой связи, предполагалось получить соево-морковную композицию заданного состава и свойств для последующего ее использования в рыбопродуктах питания фаршевой, пастообразной и сухой формы функциональной направленности.

При этом композиция должна отвечать следующим требованиям: иметь в своем составе рациональное содержание воды, обеспечивающее необходимую и достаточную концентрацию функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ) в совокупности с белками; прогнозируемую однородную фаршевую пасто- или паштетообразную консистенцию; обладать приятным цветом, запахом и вкусом; содержать вещества антиоксидантной природы; не обладать токсикологическими свойствами и эффектами.

На рисунке 1 представлена обобщенная технологическая схема получения рыбопродуктов заданного состава и свойств, разработанная с учетом предложенного технологического подхода.

При проведении исследований необходимо было получить соево-морковную композицию, содержащую белковые и витаминные вещества, для чего предварительно подготовленные компоненты дезинтегрировали в водной среде, получая белково-витаминный экстракт (БВЭ) и нерастворимый соево-морковный жомовый остаток (НСМЖО). Коагуляцию белковых веществ, в отделенном БВЭ проводили 5%-ным водным раствором аскорутина.

Использование в качестве коагулянта белковых веществ аскорутин вместо CaCl_2 позволило получить окрашенный в розовый цвет коагулят в виде белково-витаминной композиции, которая содержит в своем составе белки, витамины С и Р, а также Е и β -каротин. Данная совокупность ФПИ представляет собой комплекс, обладающий антиоксидантными свойствами [5, с28].

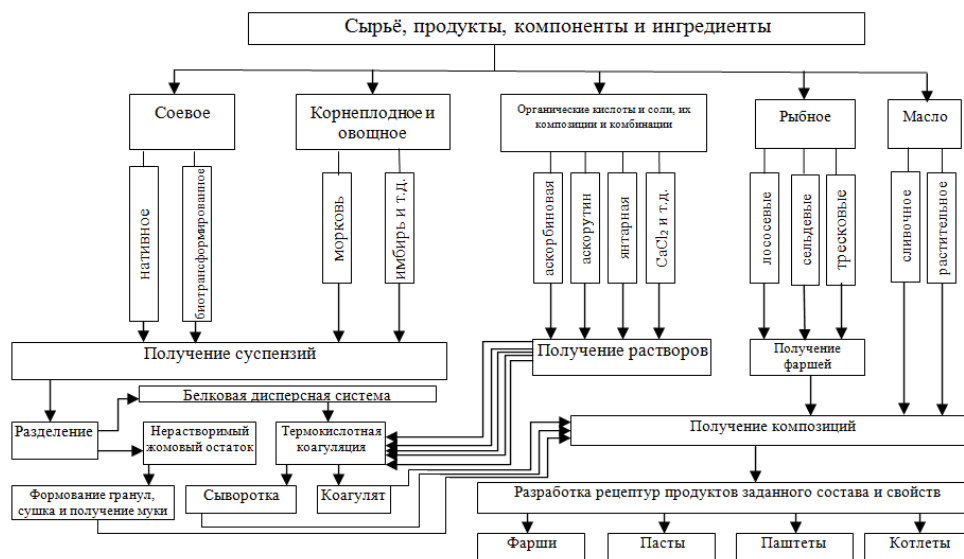


Рисунок 1 – Обобщенная технологическая схема получения рыбо-растительных продуктов заданного состава и свойств

Режим структурообразования в белково-витаминной дисперсной среде обоснован путем получения адекватной ($F_R > F_T$) математической модели, учитывающей одновременное влияние на критерий оптимизации совокупности трех факторов:

$$T = 53,03 - 9,79m - 27,50AKC + 2,60 t^{\circ} + 1,35m \times AKC + 0,32AKC \times t^{\circ} + 0,17m^2 - 0,04 (t^{\circ})^2 \rightarrow \min, \text{где (1)}$$

T – временной режим коагуляции с учетом пастеризационного эффекта, равный - 95 мин.;

m -концентрация коагулята в БВЭ, равная - 12,5%;

AKC - активная кислотность, равная 3,9 - 4,0 ед.;

t° - температурный режим процесса термокислотной коагуляции, равный - 50-55°C.

В таблице 1 приведены данные, характеризующие исходное сырьё, а также полученные композиции, содержащие физиологически функциональные пищевые компоненты.

На основе рыбного сырья кеты, горбуши, трески и сайры с содержанием белка в пределах 16,0 - 21,0% и жира 0,5 - 7,0% готовился фарш, который посредством куттерования до измельчался и смешивался в пропорции 3:1 с белково-витаминным коагулятом.

Установлено, что качественные показатели фаршей, а также их реологические характеристики в значительной степени зависят от режимов куттерования, и в частности, от его продолжительности T_K .

Таблица 1 – Химический состав используемого сырья и компонентов ($\bar{X} \pm m$; $p \leq 0,05$)

Состав	Исходное сырье и компоненты				
	соевое зерно сорта «Соната»	морковь красная	соево-морковный белково-витаминный экстракт	соево-морковный белково-витаминный коагулят	нерастворимый соевый-морковный жомовый остаток
Белки, (N×6,25)%	39,1	1,3	3,2	10,7	3,2
Липиды, %	19,2	0,1	2,4	6,3	1,8
Углеводы, %	24,3	9,3	4,0	10,2	14,0
Минеральные вещества, %	5,4	1,0	2,4	7,8	2,5
β-каротин, мг/100г	0,3	9,0	4,5	5,4	2,5
Витамин С, мг/100 г	-	5,1	2,5	40,4	1,0
Витамин Е, мг/100г	48,0	0,6	25	18,0	6,0
Витамин Р мг/100г	-	-	-	25,0	-

Для указанной выше последовательности по рыбному сырью получены зависимости предельного напряжения сдвига π_i , которые аппроксимированы линейными выражениями следующего вида:

$$\pi_1 = 183,1 + 2,3T_K; (2) \pi_2 = 180,4 + 2,5T_K; (3)$$

$$\pi_2 = 180,6 + 1,4T_K; (4) \pi_4 = 180,9 + 2,8T_K. (5)$$

Анализ полученных зависимостей показал, что значение π_i находится в пределах 188,1 – 215,9 Па, при которых $T_K = 11,0 - 12,5$ минут.

В таблице 2 приведены данные по составу и энергетической ценности полученных фаршевых, пастовых и паштетных композиций.

Анализ данных таблицы 2 по наличию в продуктах витаминов Р, С, Е и β-каротина показывает, что их содержание составляет соответственно 63,2%, 26,2%, 37,5% и 54% от рекомендуемой суточной нормы потребления (РСНП).

Таблица 2 – Содержание и энергетическая ценность основных пищевых веществ в рыбопродуктах питания ($\bar{X} \pm m$; $p \leq 0,05$)

Композиция	Массовая доля, %					Витамины, мг/100г				Энергетическая ценность, ккал/100г
	воды	белка	липидов	углеводов	минеральных веществ	Р	С	Е	β-каротин	
Фаршевая на основе лососевых	61,5	20,8	5,9	7,1	5,7	15,0	20,2	7,5	2,70	148,7
Пастовая на основе трески	62,5	19,0	3,0	9,9	5,6	14,9	20,0	7,5	2,7	142,6
Паштетная на основе сайры	62,0	21,5	3,5	10,0	5,5	15,8	21,0	7,0	2,70	157,5

Определено, что готовый дегидратированный рыбастильный фарш характеризуется составом, пищевой, биологической и энергетической ценностью, набухаемостью, продолжительностью варки, а также определенными значениями органолептического показателя - ОП (балл).

Определено также, что прогнозируемые органолептические показатели сушеного фарша заданного состава и свойств зависят от массовой доли соево-морковной композиции (m), температурного и временного режимов (t_c° и T , мин.), а также исходной влажности сформованных гранул (B_H , %). В качестве критерия оптимизации по процессу сушки фарша принята его общая органолептическая оценка – ОП, балл.

В результате исследований получены следующие модели, адекватность которых подтверждается неравенством $F_R > F_T$, при коэффициентах корреляции 0,91- 0,94:

$$ОП_1 = -286,2 - 0,67m + 5,35t_c^\circ + 2,33T_c - 0,03t_c^\circ T_c + 0,13 m^2 - 0,21 (t_c^\circ)^2 + 0,01T_c^2 \rightarrow \max; (6)$$

$$ОП_2 = -518,5 - 4,82m + 8,06 t^\circ + 2,84T_c - 0,28 m t^\circ - 0,23mT^2 - 0,02m^2 - 0,34 (t^\circ)^2 - 0,34 T_c^2 \rightarrow \max; (7)$$

$$ОП_3 = 120,8 + 5,96m - 3,51 t^\circ - 0,77T_c - 0,04 m t^\circ - 0,04m^2 + 0,02 (t^\circ)^2 + 0,05 T_c^2 \rightarrow \max, (8)$$

где ОП₁, ОП₂, ОП₃ – показатели органолептической оценки для рыбастильных фаршей из кеты, горбуши и трески соответственно равные 21,0, 21,5 и 22,2 балла;

m – массовая доля белково-витаминного компонента (коагулята);

t_c° и T_c – соответственно температура и продолжительность сушки в камерной сушилке «ЭСПИС – 4 – Универсал», равные 105,5°С и 30 минут.

Установлено что сушеные фарши имеют относительно высокое содержание комплементарного белка, высокоценных липидов, а также комплекс витаминов.

На основании полученных данных разработана биотехнология получения пищевых продуктов фаршевой, пастовой и сухой формы заданного состава и свойств (рис. 2).



Рисунок 2 – Технологическая схема производства рыборастворительных продуктов фаршевой, пастовой и сухой формы заданного состава и свойств

На основании проведенных исследований разработаны рецептуры пищекомпонентов «Суп-уха с рыборастворительным фаршем». Количество фарша в нем принято 15% по всем трем разработанным вариантам. Рецептурой также предусмотрено введение в их состав жиров, с включенной в них смесью, обладающей антиоксидантными свойствами – имбирь + куркума – в массовой доле до 1,0%.

В таблице 3 представлен химический состав и энергетическая ценность пищекомпонентов «Суп - уха с рыборастворительным фаршем» по трем вариантам и с рисом, и с перловой крупой.

Таблица 3 – Содержание и энергетическая ценность пищеко^нцентра^тов «Суп-уха с рыба^растительным фаршем»

Суп-уха сухой с рыба ^р астительным фаршем	Массовая доля, %				Энергетическая ценность, ккал/100г
	белков N×6,25	липидов	углеводов	зола	
Суп-уха рисовый вариант 1	11,3	12,1	58,3	6,3	387,3
вариант 2	12,0	12,0	56,4	6,5	381,6
вариант 3	10,8	8,5	63,0	6,8	371,7
Суп-уха перловый вариант 1	12,3	12,9	56,5	6,5	391,3
вариант 2	13,7	13,8	54,2	6,6	387,8
вариант3	11,8	9,3	61,0	6,3	374,9

Данные пищевые концентраты отличается относительно высокое содержание белков, липидов, углеводов и минеральных веществ.

Анализ данных, представленных в таблице 3, также показывает, что разработанные пищеко^нцентра^ты имеют относительно высокое содержание основных пищевых веществ, что определяет их соответствующую пищевую и энергетическую ценность от 371,7 до 391,3 ккал/100г.

Несмотря на относительно низкие данные по биологической ценности белка в целом по пищеко^нцентра^там, в их составе присутствует компонент – рыба^растительный фарш, который содержит комплементарный рыбный и соевый белок. В этой связи, разработанные пищеко^нцентра^ты, являются полноценными продуктами питания.

В таблице 4 представлены данные по биологической ценности белка разработанных пищеко^нцентра^тов.

Таблица 4 – Биологическая ценность пищевых концентратов «Суп-уха с рыба^растительным фаршем»

Незаменимые аминокислоты (НАК)	Стандарт - шкала ФАО/ВОЗ		Суп-уха							
	A*	C*	с фаршем на основе кеты				с фаршем на основе трески			
			рис		перловка		рис		перловка	
			A	C	A	C	A	C	A	C
Валин	5,0	100	4,70	94,0	3,80	76,0	4,70	94,0	3,82	76,4
Лейцин	7,0	100	6,20	88,6	5,13	73,2	6,20	88,5	5,22	74,6
Изолейцин	4,0	100	3,35	83,7	3,30	82,5	3,35	83,7	3,35	83,7
Лизин	5,5	100	3,33	60,5	3,65	66,4	3,30	60,0	3,65	66,4
Метионин + цистин	3,5	100	2,70	77,1	2,86	81,7	2,70	0,71	2,86	81,7
Треонин	4,0	100	2,60	65,0	2,41	60,2	3,13	78,2	2,44	61,0
Фенилаланин+тирозин	6,0	100	6,37	105,0	6,45	107,5	6,30	105,0	6,70	111,7
Триптофан	1,0	100	0,96	97,0	0,97	97,0	0,97	97,0	0,97	97,0

*примечание: А-содержание аминокислоты, г/100 г; С-аминокислотный скор, %.

В процессе исследований также установлена зависимость, характеризующая режимы хранения разработанных пищеко^нцентра^тов.

Зависимость показателя органолептической оценки рыба^растительных пищеко^нцентра^тов (ОП) от продолжительности их хранения (Т_{хр}) аппроксимирована выражением следующего вида:

$$ОП = 23,8 - 0,25T_{хр}, \text{ где} \quad (9)$$

ОП – допустимое значение показателя органолептической оценки;

Т_{хр} – продолжительность хранения.

На основании проведенных исследований и соответствующего анализа полученных данных, определены технологические подходы к созданию продуктов питания жидкой, фаршевой, пастовой и сухой формы с использованием физиологически функциональных пищевых ингредиентов: содержащихся в семенах сои, морковном и рыбном сырье, а также установлены закономерности структурообразования в белково-витаминной дисперсной системе посредством аскорутинного комплекса. Обоснованы режимы получения белково-витаминного коагулята и на его основе продуктов заданного состава и свойств функциональной направленности.

Установлены зависимости, характеризующие режимы формирования структуры и свойств пищевых систем, содержащих физиологически ценные ингредиенты соевого, морковного и рыбного сырья, на основании которых обоснованы оптимальные режимы и разработана биотехнология получения рыбобластительных композиций. На основе математического и параметрического моделирования определены рациональные условия и оптимальные параметры получения дегидратированных рыбобластительных фаршей с целью их последующего использования в рецептурах пищевого концентрата «Суп-уха с рыбобластительным фаршем».

Список литературы

1. Основы государственной политики РФ в области здорового питания населения на период до 2020 г. (утверждены Распоряжением Правительства РФ от 25.10.2010 г. №1873-р) [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12079847/>.
2. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2005. – 20с.
3. ГОСТ 54059 – 2010 Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования. – М.: Стандартинформ, 2011. – 12 с.
4. Толстогузов, В.Б. Новые формы белковой пищи / В.Б. Толстогузов. – М.: ВО Агропромиздат, 1987. – 303с.
5. Шабров, А.В. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи / А.В. Шабров, В.А. Дадали, В.Г. Макаров. – М.: Аэвэллон, 2003. – 184с

УДК 621.923.1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ
ДЕТАЛЕЙ ПИЩЕВЫХ МАШИН**

© *М.В. Донцова, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

© *А.Д. Нелюдов, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

**DETERMINATION THE CONTACT TEMPERATURE
OF THE PROFILE GRINDING
FOR THE DETAILS OF FOOD MACHINERY**

© *M.V. Dontsova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *A.D. Neludov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье приведены теоретические исследования теплового режима при шлифовании изделий сложной формы, учитывая переменный характер распределения температуры вследствие изменения плотности теплового потока по профилю. Получена математическая модель контактной температуры в произвольной точке профиля, устанавливающая взаимосвязь с технологическими режимами обработки. Получено выражение, для расчета коэффициента концентрации тепла на участках профиля с ограниченным теплоотводом.

Ключевые слова: контактная температура, профильное шлифование, технологические режимы

This article presented theoretical study of thermal regime in the grinding of complex shapes, taking into account the variability of temperature distribution due to changes in the density of heat flow on the profile. Obtained mathematical model of the contact temperature at any point of the profile, establishing a relationship with the processing modes. The dependence of the contact temperature on the angle of the local normal. An expression for calculation of heat concentration factor in the profile areas with limited heat sink.

Key words: contact temperature, profile grinding, technological modes

E-mail: dontmv@mail.ru, nelyudalex@mail.ru

Одной из тенденций развития машиностроения является применение прогрессивного оборудования в различных отраслях производства, в том числе и пищевой промышленности. Качественные показатели фасонных поверхностей кулачковых механизмов, рукояток и других элементов оборудования пищевых машин получают профильным шлифованием на кругло и плоскошлифовальных станках.

Применение профильного врезного шлифования при обработке деталей со сложной формой позволяет увеличить производительность обработки, обеспечить необходимую шероховатость поверхности, а также повышенную стабильность получения размеров деталей в партии.

Одной из важнейших задач при шлифовании является отсутствие микротрещин и сколов на обрабатываемой поверхности детали, которые возникают из-за термических нагрузок в процессе обработки. При профильном шлифовании каждый участок обрабатываемой поверхности находится в специфических условиях, на которые с одной стороны, влияют характеристики и параметры процесса резания, а с другой – наличие смежных участков.

Процесс шлифования характеризуется высокими скоростями резания, что ведет к возникновению в области контакта изделия со шлифовальным кругом высоких мгновенных температур, превышающих критические точки и до-

стигающих точек плавления шлифуемых материалов. В связи с этим, в поверхностных слоях обрабатываемого изделия могут происходить изменения в виде фазовых и структурных превращений, прижогов, микротрещин и др.

Для определения контактной температуры на поверхности детали при плоском многопроходном шлифовании профильным кругом, воспользуемся решением задачи о распределении тепла в стержне, нагреваемом с одного конца.

Возьмем на обрабатываемом изделии элемент шириной dB и рассмотрим его взаимодействие с шлифовальным кругом. При этом объем материала в поверхностном слое изделия $dV = dB \cdot dL \cdot dx$, можно представить в виде стержня, на одной стороне которого в течение контакта со шлифовальным кругом поддерживается постоянная температура T (рисунок 1).

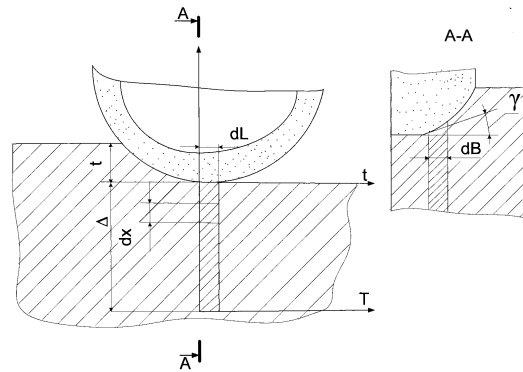


Рисунок 1 – К расчету контактной температуры при профильном шлифовании

Распределение тепла в стержне осуществляется путем теплопроводности в соответствии с дифференциальным уравнением Фурье [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \omega \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (1)$$

Функция $T(\tau, x)$ является решением данного уравнения (1) и удовлетворяет следующим начальным и граничным условиям: при $\tau = 0$, $T = 0$; при $x = 0$, $T_x = 0$; при $x = \Delta$, $T_x = T$.

Согласно теории теплопроводности функцию T выразим как

$$T(\tau, x) = T \cdot \frac{x}{\Delta} + T \cdot \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2 \omega}{\Delta^2} \tau} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{\Delta}, \quad (2)$$

где Δ - глубина проникновения тепловой волны вдоль стержня.

Количество теплоты, содержащееся в элементарном объеме dV , равно

$$dQ = dB \cdot dL \cdot dx \cdot \rho \cdot c \cdot T(\tau, x). \quad (3)$$

Проинтегрировав выражение (3) в пределах от 0 до Δ получим

$$Q = dB \cdot dL \cdot \rho \cdot c \cdot T \cdot \sqrt{\omega \cdot \frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_u}}. \quad (4)$$

С другой стороны, количество тепла за время контакта элементарного стержня со шлифовальным кругом можно выразить через плотность теплового потока q :

$$Q = q \cdot dB \cdot dL \cdot d\tau. \quad (5)$$

Приравнявая формулы (4) и (5), решаем данное уравнение относительно T , тогда получим

$$T = \frac{q \cdot dB \cdot dL \cdot d\tau}{dB \cdot dL \cdot \rho \cdot c \cdot \sqrt{\omega \cdot \frac{\sqrt{D \cdot t}}{V_u}}} \quad (6)$$

После некоторых математических преобразований имеем

$$T = \frac{C_p \cdot t^{x-0,25} \cdot S^y \cdot V_{кр.}^z}{\sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c \cdot \sqrt[4]{D} \cdot \sqrt{V_u}}} \quad (7)$$

Поскольку при профильном шлифовании имеет место изменение глубины шлифования по профилю, выражение для определения контактной температуры в произвольной точке образующей шлифуемого изделия примет следующий вид:

$$T_i = \frac{C_p \cdot \cos \gamma_i^{x-0,25} \cdot t^{x-0,25} \cdot S^y \cdot V_{кр.i}^z}{\sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c \cdot \sqrt[4]{D_i} \cdot \sqrt{V_u}}} \quad (8)$$

Таким образом, установлена функциональная связь контактной температуры с технологическими режимами обработки при профильном шлифовании.

Результаты анализа формулы (9) показаны на графике (рисунок 2)

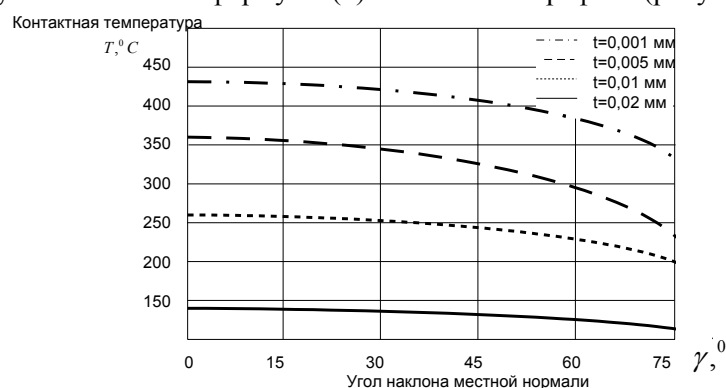


Рисунок 2 – Изменение контактной температуры от угла наклона местной нормали

Из рисунка 2 видно, что контактная температура существенным образом зависит от угла наклона местной нормали. При $\gamma = 0^\circ$ температура достигает своего максимального значения. При увеличении угла γ происходит уменьшение значений тангенциальной составляющей силы резания и величины теплового потока, следствием чего является понижение контактной температуры в зоне резания.

Проанализировав данные, полученные на графике, можно говорить о зависимости увеличения контактных температур в процессе обработки при увеличении глубины шлифования, так как при этом происходит увеличении мощности теплового потока.

При обработке изделий, имеющих участки профиля с малыми радиусами закругления, важно учитывать наличие соседних поверхностей и граничные условия, которые на них реализуются. При этом на величину контактной температуры, в данной точке, будут оказывать влияние не только

отражение теплового потока от ограничивающих поверхностей, но и наложение теплового потока, который образуется при одновременной обработки противоположащей стороны.

Анализ показывает, что большинство участков фасонного профиля изделия, имеющих ограниченные размеры, могут быть схематизированы в виде клина, имеющего угол при вершине α (рисунок 3).

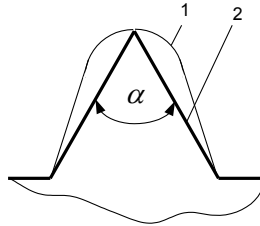


Рисунок 3 – Схематизация участков фасонного профиля
1 - профиль шлифуемого изделия; 2 - заменяющий клин

Предположим, что по граням бесконечно длинного клина с постоянной скоростью $V_{\text{тн}}$ в положительном направлении оси z движется полосовой источник тепла шириной $2h$ (рисунок 4). Плотность теплового потока постоянна по всей поверхности источника и равна q , а плоскости, образующие клин, не пропускают тепла.

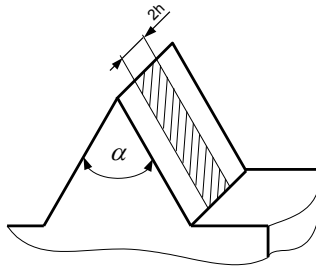


Рисунок 4 – Схема полосового источника тепла

Тогда, уравнение описывающее данный процесс будет иметь следующий вид [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \omega \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + V_{\text{тн}} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (9)$$

При этом необходимо учитывать начальные и граничные условия

$$T|_{\tau=0} = 0 ;$$

$$\frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} \Big|_{\theta=0} = \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\alpha} = q = \text{const} ; \quad (10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} \Big|_{\theta=0} = \frac{\partial T}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\alpha} = 0 .$$

Для решения данной задачи используем метод источников в совокупности с методом отражений. Основной принцип последнего состоит в том, что на поверхностях, ограничивающих теплоотвод, строятся отраженные источники, которые позволяют сохранить условия адиабатичности на этих поверхностях.

Поместим на шлифуемую грань клина ($\theta = 0$) в точку P_0 источник интенсивностью θ (рисунок 4). Этот источник вызовет в клине распределение температуры, описываемое функцией:

$$T = \frac{Q}{c\rho(4\pi\omega t)^{3/2}} \exp\left[-\frac{r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\theta + (z - z' + Vt)^2}{4\omega t}\right].$$

Выражение, описывающее распределение температуры при профильном шлифовании с учетом отражений от ограничивающих поверхностей [1], можно представить в следующем виде:

$$T = \sum_{n=0}^{m-1} \int_{-h}^h \frac{q}{2\pi\lambda} \exp\left[-\frac{v(z-z')}{2\omega}\right] dz' \frac{v}{2\omega} \times$$

$$\exp\left\{-\sqrt{\frac{v^2}{4\omega^2}\left(r^2 \sin^2\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right) + \left(r' - r \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right)\right)^2 + (z - z')^2\right)}\right\} \quad (11)$$

$$\times \int_0^\infty \frac{\exp\left\{-\sqrt{\frac{v^2}{4\omega^2}\left(r^2 \sin^2\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right) + \left(r' - r \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right)\right)^2 + (z - z')^2\right)}\right\}}{\sqrt{\frac{v^2}{4\omega^2}\left(r^2 \sin^2\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right) + \left(r' - r \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right)\right)^2 + (z - z')^2\right)}} \times$$

$$\text{Обозначим } \xi = \frac{\left(r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right) + (z - z')^2\right)^{1/2}}{2\sqrt{\omega(t-t')}} ,$$

тогда $d\xi$ будет

$$d\xi = \frac{\left(r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\left(\theta - \frac{2\pi}{m}n\right) + (z - z')^2\right)^{1/2}}{4\omega(t-t')^{3/2}} dt'.$$

С учетом этого выражение (11) перепишем в следующем виде:

$$T = \frac{2q\omega}{\pi\lambda V_{\text{ти}}} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) K_0\left(\sqrt{\rho^2 \sin^2\theta + \xi^2}\right) \frac{\sum_{n=0}^{m-1} K_0\left(\sqrt{\rho^2 \cos^2\theta + \xi^2}\right)}{K_0\left(\sqrt{\rho^2 \sin^2\theta + \xi^2}\right)} d\xi, \quad (12)$$

где $H = \frac{V_{\text{ти}} h}{2\omega}$ – безразмерная полуширина источника теплоты;

$\rho = \frac{V_{\text{ти}} r}{2\omega}$ – параметр, определяющий положение точки на ребре клина;

$Z = \frac{V_{\text{ти}} z}{2\omega}$ – безразмерная координата;

K_0 – модифицированная функция Бесселя;

θ – полярный угол.

На основании численного анализа выражения (12) при $\rho=0$ определялись значения температур на ребре клина, заменяющего соответствующий участок профиля. Сопоставление полученных значений температур с результатами вычисления по формуле (8) для угла наклона местной нормали $\gamma = 0$ показывает, что при малых углах клина наблюдается значительное увеличение температуры за счет ограниченных размеров теплопроводящего пространства и наложения тепловых потоков от противолежащих сторон. При угле клина более 90° численные значения контактной температуры по выражениям (8) и (12) практически совпадают. Это объясняется тем, что ограниченность теплопроводящего пространства отсутствует.

Для оценки влияния отражений теплового потока при шлифовании участков, имеющих форму клина, введем критерий, учитывающий концентрацию тепла $K_{\text{кт}}$. В результате математической обработки было получено выражение, позволяющее рассчитать коэффициент $K_{\text{кт}}$ при различных значениях растворов угла клина:

$$K_{\text{кт}} \approx (\sin \alpha)^{-1,67},$$

где α - угол раствора клина.

Таким образом, контактная температура для участков профиля с малыми радиусами закругления может быть найдена из следующего соотношения:

$$T_{\text{кт}} = T_{\text{кт}, \gamma=0} \cdot K_{\text{кт}}$$

Полученное выражение описывает распределение контактной температуры при профильном шлифовании с учетом ограничивающих поверхностей.

Список литературы

1. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 283 с.
2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.

УДК 636.22.014

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПО НАКЛОННЫМ ЛОПАСТЯМ
БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ**

- © **В.В. Коновалов**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)
- © **В.Ю. Зайцев**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)
- © **Н.В. Димитриев**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)
- © **А.В. Чупшев**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия
(г. Пенза, Россия)
- © **В.П. Терюшков**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

**ANALYTICAL PARAMETERS DETERMINATION ON MOTION
OF MATERIAL INCLINED BLADES DRUM MIXERS**

- © **V.V. Konovalov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © **V.Y. Zaitsev**, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © **N.V. Dimitriev**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)
- © **A.V. Chupshev**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)
- © **V.P. Teryushkov**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

Приведено описание работы смесительного аппарата барабанного устройства. Выполнен анализ силового взаимодействия материала и лопасти. Определены проекции ускорения, действующего на материал по лопасти. В результате теоретических преобразований и решения системы уравнений определены выражения движения материала по лопасти. На основании нахождения времени схода материала с лопасти в радиальном направлении определяется за это время смещение материала вдоль емкости барабана.

Ключевые слова: смешивание, барабанный смеситель, гравитационный смеситель, лопасть барабана, наклон лопасти.

The description of the operation of the mixing apparatus of the drum unit. The analysis of the interaction between the material and the power of the blade. Projections defined acceleration acting on the blade material. As a result, the theoretical reforms and solving the system of equations defined by the expression of motion of the blade material. Based on the finding of a radially vanishing time determined by the blade material during this time the material along the drum displacement capacity.

Key words: mixing drum mixer, a gravity mixer drum blade, tilting the blade.

Актуальность и цели. Основой промышленности современного общества является использование в различных направлениях деятельности человека самых разнообразных смесей [1...3] и получаемых на их основе композиционных материалов [4...7]. Получение смесей осуществляется разнообразными устройствами, в т.ч. смесителями [8...10], экструдерами и прессами [11].

Широко применяются в промышленности и сельском хозяйстве барабанные сушилки, смесители, бетономешалки и другие устройства. Они малозатратны по потреблению энергии и могут приготавливать смесь за короткий промежуток времени [1,12...17]. Целью исследований является аналитическое установление характера движения материала по наклонным радиальным лопастям внутри наклонного вращающегося барабана.

Материалы и методика исследований.

Методика исследований предусматривала аналитическое определение параметров перемещения материала по лопастям при вращении барабана. Используя опубликованные результаты [19], аналитически определяются выражения, описывающие движение материала по лопасти.

При вращении емкости 2 барабана (рис.1) в направлении угловой скорости ω , сыпучий материал захватывается лопастями 1, поднимается на некоторую высоту, после чего начинается движение частиц материала по лопастям 2 под действием сил гравитации с образованием насыпи материала 3 внутри емкости. Материал, вращающийся с емкостью 1 и лопастями 2 барабана будет прижиматься центробежными силами к стенкам емкости 1, удерживаться лопастями 2 и за счет этого подниматься на некоторый угол при его вращении.

При наклоне от горизонтали на угол α оси вращения емкости барабана материал будет смещаться вдоль барабана по лопастям 2 к днищу емкости (вправо). Тем самым, образуется насыпь 3 в продольной плоскости.

Наличие упоров (со стороны оси вращения) на концах предлагаемых лопастей 2, установленных под углом β к оси вращения, увеличивает трение в радиальном направлении, препятствуя сдвигу слоев с внутренним трением. При этом сохраняется возможность продольного осевого движения с трением материала смеси по поверхности лопасти. Тем самым, увеличивая продольное смещение смеси вбок к днищу, увеличивается степень заполнения емкости и ускоряется усреднение материала в емкости. Установка последующей лопасти уже с противоположным углом перемещает порцию материала в противоположном направлении относительно оси вращения, но с меньшей интенсивностью.

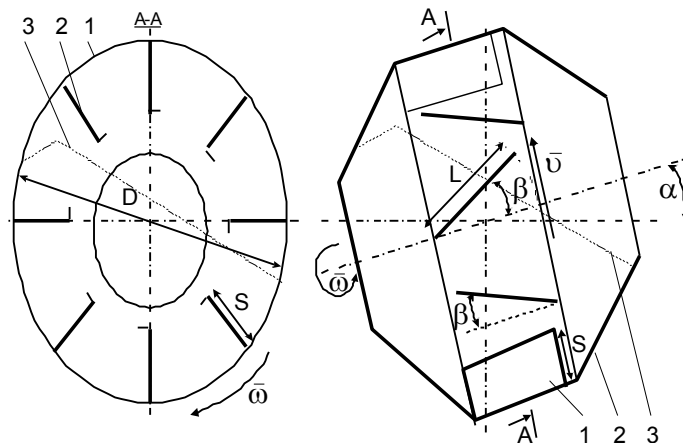


Рисунок 1 – Схема перемешивающего аппарата барабанного смесителя:
1 – емкость барабана; 2 – лопасть; 3 – поверхность сыпучего материала
Результаты исследований

Направим оси координат (рис.2): ось X – вдоль лопасти и в направлении стремящемся к оси вращения барабана; ось Y – нормаль к лопасти; ось Z – поперек оси вращения барабана и вдоль лопасти.

Определим действующие силы. Центробежная сила F_c действует вдоль лопасти, сила тяжести G - вниз. Нормальная проекция действующих сил, N :

$$N = G \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta). \quad (1)$$

$$\text{Сила трения, Н: } F_{\text{ТР}} = N \cdot f = [G \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta)] \cdot f. \quad (2)$$

Сила трения направлена навстречу скорости движения. Для этого найдем проекции действующих сил на плоскость лопасти. Проекция центробежной силы на лопасть является сама центробежная сила – F_c . Проекция силы тяжести определится: $G \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi$. Проекция на ось X составляет: $G_x = G \cdot \sin \alpha$. Проекция на ось Z составляет: $G_z = G \cdot \sin \varphi$. Равнодействующая проекций сил на лопасть F может быть определена как сумма векторов: $\vec{F} = \vec{F}_c + \vec{G}_z + \vec{G}_x + \vec{F}_{\text{ТР}}$. (3)

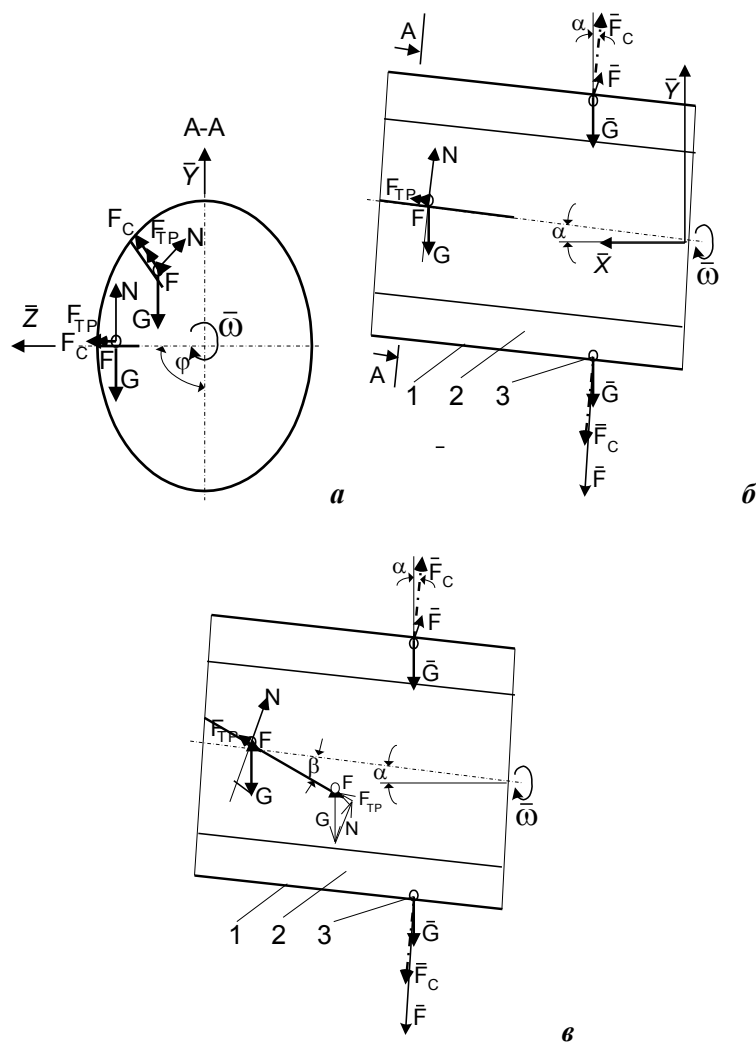


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на частицы вращающегося кольца материала:
 а – в поперечном сечении барабана; б – в продольном сечении барабана при отсутствии скольжения частиц вдоль лопасти; в – в продольном сечении барабана при наличии скольжения частиц вдоль повернутой на угол β лопасти 2;
 1 – вращающаяся емкость барабана; 2 – лопасть;
 3 – частицы материала расположенные на лопасти

Соответственно, проекции на лопасть сил тяжести и центробежной на оси составят (рис.3): $\vec{F}_z = \vec{F}_c + \vec{G}_z$; $\vec{F}_x = \vec{G}_x$.

Угол проекции на горизонтальную плоскость силы тяжести относительно радиуса (угол γ), расположенного вдоль лопасти через частицу материала

$$\gamma = \arctg \frac{(g \cdot \sin \alpha)}{(R \cdot \omega^2 + g \cdot \cos \varphi)} \quad (4)$$

Тогда проекции действующих сил на оси X и Z:

$$\begin{aligned} \vec{F}_x &= \vec{G}_x + \vec{F}_{TPx}, & \vec{F}_z &= \vec{F}_c + \vec{G}_z + \vec{F}_{TPz}. \\ F_x &= m \cdot g \cdot \sin \alpha - [m \cdot g \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta)] \cdot f \cdot \sin \gamma. \\ F_z &= m \cdot R \cdot \omega^2 + m \cdot g \cdot \cos \varphi + [-m \cdot g \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta)] \cdot f \cdot \cos \gamma \end{aligned} \quad (5)$$

Проекции действующих ускорений по осям:

$$a_x = g \cdot \sin \alpha - [g \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta)] \cdot f \cdot \sin \gamma; \quad (6)$$

$$a_z = R \cdot \omega^2 + g \cdot \cos \varphi - g \cdot f \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos \gamma. \quad (7)$$

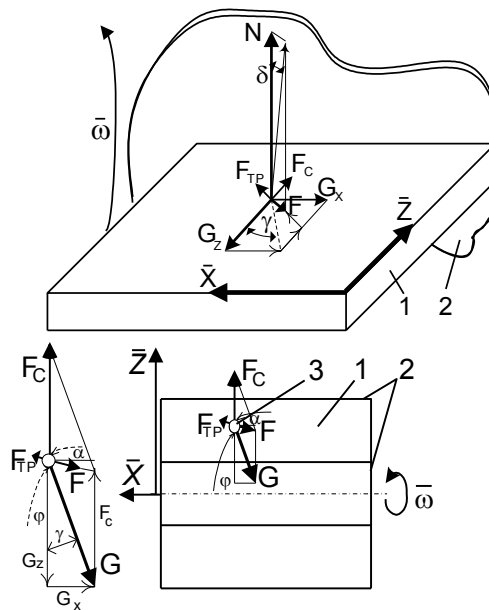


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на частицы, расположенные на лопасти вращающегося барабана, соответственно горизонтальной и вертикальной:

1 – лопасть; 2 – вращающаяся емкость барабана;
3 – частицы материала расположенные на лопасти

Угол наклона лопасти, при котором возможно движение материала вдоль оси вращения барабана определится из выражения

$$\cos(\alpha + \beta) \geq \frac{g \cdot \sin \alpha}{[g \cdot \sin \varphi] \cdot f \cdot \sin \gamma}, \text{ откуда } \beta \geq \arccos\left(\frac{g \cdot \sin \alpha}{[g \cdot \sin \varphi] \cdot f \cdot \sin \gamma}\right) - \alpha. \quad (8)$$

Угол начала схода вороха материала с лопасти φ (рад.) определится из условия:

$$\begin{aligned} & \{[g \cdot [\sin \alpha - \sin \varphi \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot f \cdot \sin \gamma]]^2 + [R^* \cdot \omega^2 + g \cdot \\ & \cdot [\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos(\alpha + \beta)]]^2\}^{1/2} - \\ & - g \cdot \sin \varphi \cdot f \cdot \cos(\alpha + \beta) = \chi \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Если соотношение величин нормальной проекции действующих сил и проекция действующих сил в плоскости на лопасть находятся в пределах конуса трения [18], движение частиц по поверхности лопасти происходить не будет вследствие самоторможения. Если же проекция сил вдоль лопасти превысит χ , то будет движение частиц вдоль лопасти по осям X и Z с ускорением a_x и a_z (ф.6,7).

Выше указанное силовое обоснование было рассмотрено в работе [19]. Однако, остается неизвестным характер движения по лопасти, что мы и определим.

Учитывая, что ускорение (ф.7) – вторая производная координаты, запишем:

$$\begin{aligned} \ddot{Z} + \omega^2 Z = g \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - g \cdot f \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \\ \cos \gamma + R \cdot \omega^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Общее решение линейного неоднородного уравнения имеет вид:

$$Z = Z_0 + \bar{Z}, \text{ где } Z_0 - \text{общее решение уравнения: } \ddot{Z} + Z \cdot \omega^2 = 0. \quad (11)$$

Составим и решим характеристическое уравнение: $k^2 + \omega^2 = 0$,

где $k = \pm \omega \cdot i$ – корни полинома.

Общее решение уравнения (11) имеет вид:

$$Z_0 = e^{\alpha^* t} \cdot (C_1 \cdot \cos(\beta^* \cdot t) + C_2 \cdot \sin(\beta^* \cdot t)), \text{ здесь } \alpha^* = 0, \beta^* = \omega.$$

Таким образом, общее решение уравнения (11).

$$Z_0^* = e^{\alpha^* t} \cdot (C_1 \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) + C_2 \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t)).$$

$\bar{Z}$ – частное решение данного линейного неоднородного уравнения, вида:

$$\bar{Z} = t \cdot (A \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - B \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t)) + C.$$

$$\begin{aligned} \dot{\bar{Z}} = (A \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - B \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t)) - \omega t \\ \cdot (A \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) + B \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t)). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ddot{\bar{Z}} = -A \cdot \omega \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) - B \cdot \omega \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - A \cdot \omega \\ \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) - B \cdot \omega \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) + \omega^2 t \\ \cdot (B \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) - A \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t)). \end{aligned}$$

Подставляем $\dot{\bar{Z}}$ и $\ddot{\bar{Z}}$ в уравнение (9):

$$\begin{aligned} \ddot{\bar{Z}} = -2A \cdot \omega \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) - 2B \cdot \omega \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) + B \omega^2 t \\ \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) - A \omega^2 t \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) + A \omega^2 t \\ \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - B \omega^2 t \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) + C \omega^2 \\ = g \cos(\varphi_0 + \omega t) - g f \\ \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) + R \omega^2. \end{aligned}$$

Отдельно приравняем коэффициенты при $\sin(\varphi_0 + \omega t)$,

$\cos(\varphi_0 + \omega t)$ и свободные члены:

$$\begin{cases} -2A \cdot \omega = -gf \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \\ -2B \cdot \omega = g \\ C\omega^2 = R\omega^2 \end{cases} =$$

$$> \begin{cases} A = \frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \\ B = g/2\omega \\ C = R \end{cases}$$

Следовательно, частное решение уравнения (11):

$$\bar{Z} = t \cdot \left(\frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - (g/2\omega) \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \right) + R.$$

Общее решение уравнения (10) по координате Z имеет вид:

$$Z = C_1 \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) + C_2 \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) + t \cdot \left(\frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - (g/2\omega) \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \right) + R. \quad (12)$$

Первая производная (скорость) по координате Z имеет вид:

$$\dot{Z} = -C_1 \omega \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) + C_2 \omega \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) + \left(\frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) - (g/2\omega) \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \right) + t \cdot \left(\frac{-gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) - (g/2) \cdot \cos(\varphi_0 + \omega t) \right). \quad (13)$$

По условию: $\begin{cases} Z(0) = Z_0 \\ \dot{Z}(0) = 0 \end{cases}$, отсюда:

$$\begin{cases} C_1 \cdot \cos(\varphi_0) + C_2 \cdot \sin(\varphi_0) + R = Z_0 \\ -C_1 \omega \cdot \sin(\varphi_0) + C_2 \omega \cdot \cos(\varphi_0) + \frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0) - (g/2\omega) \cdot \sin(\varphi_0) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 = \frac{Z_0 - R - C_2 \cdot \sin(\varphi_0)}{\cos(\varphi_0)} \\ -(Z_0 - R)\omega \cdot tg(\varphi_0) + C_2 \omega \cdot \sin(\varphi_0) \cdot tg(\varphi_0) + C_2 \omega \cdot \cos(\varphi_0) + \frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0) + \left(\frac{g}{2\omega} \right) \cdot \sin(\varphi_0) = 0. \end{cases}$$

Из второго уравнения:

$$C_2 \omega \cdot \frac{(\sin(\varphi_0))^2 + (\cos(\varphi_0))^2}{\cos(\varphi_0)} = (Z_0 - R) \omega \cdot \frac{\sin(\varphi_0)}{\cos(\varphi_0)} - \frac{gf}{2\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0) + \left(\frac{g}{2\omega}\right) \cdot \sin(\varphi_0).$$

Откуда найдем:

$$C_2 = (Z_0 - R) \cdot \sin(\varphi_0) - \frac{gf}{2 \cdot \omega^2} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot (\cos(\varphi_0))^2 + \left(\frac{g}{2\omega^2}\right) \cdot \sin(\varphi_0) \cdot \cos(\varphi_0). \quad (14)$$

Подставляем в первое уравнение:

$$C_1 = \frac{Z_0 - R}{\cos(\varphi_0)} - (Z_0 - R) \cdot \frac{(\sin(\varphi_0))^2}{\cos(\varphi_0)} + \frac{gf}{2 \cdot \omega^2} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\varphi_0) \cdot \cos(\varphi_0) - \frac{g}{2\omega^2} \cdot (\sin(\varphi_0))^2$$

или

$$C_1 = (Z_0 - R) \cdot \cos(\varphi_0) + \frac{g}{2 \cdot \omega^2} \cdot \sin(\varphi_0) \cdot (f \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0)) - \sin(\varphi_0) \quad (15)$$

Итак, найдена $\dot{Z}$ (ф.(13)), где C_1, C_2 определяются выражениями (14) и (15).

Задаваясь начальной координатой Z , найдем время достижения частицей внутреннего края лопасти. За данный промежуток времени частица сможет переместиться на координату X вдоль лопасти.

Найдем скорость по оси X , проинтегрировав соотношение (6):

$$\vartheta_x(t) = gt \cdot \sin \alpha + \frac{gf}{\omega} \cos(\varphi_0 + \omega t) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \sin(\gamma) + C_2.$$

Найдем C_2 из условия, что $\vartheta_x(t) = 0$:

$$C_2 = -\frac{gf}{\omega} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\varphi_0).$$

Отсюда

$$\vartheta_x(t) = gt \cdot \sin \alpha + \frac{gf}{\omega} (\cos(\varphi_0 + \omega t) - \cos(\varphi_0)) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma).$$

Или

$$\vartheta_x(t) = gt \cdot \sin \alpha + \frac{2gf}{\omega} \sin\left(\frac{\omega t}{2}\right) \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \quad (16)$$

Найдем координату X , проинтегрировав (6):

$$X(t) = \frac{gt^2}{2} \cdot \sin \alpha - \frac{gft}{\omega} \cdot \cos(\varphi_0) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) + \frac{gf}{\omega^2} \cdot \sin(\varphi_0 + \omega t) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) + C_3$$

Находим C_3 из условия, что $X(0) = X_0$:

$$C_3 = X_0 - \frac{gft}{\omega^2} \cdot \sin(\varphi_0) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) .$$

Откуда

$$X(t) = X_0 + \frac{gt^2}{2} \cdot \sin \alpha - \frac{gft}{\omega} \cdot \cos(\varphi_0) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) + \frac{gf}{\omega^2} \cdot (\sin(\varphi_0 + \omega t) - \sin(\varphi_0)) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma)$$

Или

$$X(t) = X_0 + \frac{gt^2}{2} \cdot \sin \alpha - \frac{gft}{\omega} \cdot \cos(\varphi_0) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) + \frac{2gf}{\omega^2} \cdot \sin\left(\frac{\omega t}{2}\right) \cdot \cos\left(\varphi_0 + \frac{\omega t}{2}\right) \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\gamma) \quad (17)$$

Вывод.

Полученные теоретические выражения создают возможность осуществить численное моделирование движения материала вдоль лопасти внутри вращающегося барабана, что позволяет определить параметры движения частицы по лопасти.

Список литературы

1. Лецинский Л.В. Основы теории и расчета бетоносмесительных установок. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 112 с.
2. Механизация технологических процессов животноводства / В.В. Коновалов, С.И. Щербаков, В.Ф. Дмитриев – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – 274 с.
3. Коновалов В.В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2002. – 206 с.
4. Бормотов А.Н. Математическое моделирование структуры композитов в виде рациональных функций по краевым точкам области планирования / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, С.В. Тюрденева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 272-280.
5. Бормотов А.Н. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 29-36.
6. Бормотов А.Н. Метод построения многофакторных нелинейных моделей на примере математического моделирования композитов специального назначения // А.Н. Бормотов, И.А. Прошин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 264-271.
7. Бормотов А.Н. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.Ю. Кирсанов, Е.М. Бородин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 7. – С. 98-104.
8. Чупищев А.В. Влияние диаметра лопастей и их числа на неравномерность смеси и энергоемкость смешивания / А.В. Чупищев, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего

- го профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2008. – № 2. – С. 132-133.
9. Чупишев А.В. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей / А.В. Чупишев, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, Г.В. Шабурова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 3 (89). – С. 88-91.
 10. Чупишев А.В. К обоснованию параметров быстроходного смесителя / А.В. Чупишев, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, С.С. Петрова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 3. – С. 151-154.
 11. Новиков В.В. Определение объемного расхода экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера / В.В. Новиков, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Н.А. Харыбина, Д.Н. Азиаткин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1 (75). – С. 91-94.
 12. Першин В.Ф. Модель процесса смешивания сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана / В.Ф. Першин // Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 1.
 13. Петрова С.С. Повышение качества смешивания кормов с обоснованием конструктивно-режимных параметров барабанного смесителя. / С.С. Петрова / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Пенза, 2004. – 16 с.
 14. Коновалов В.В. Обоснование угла установки емкости и длительности перемешивания сухих смесей барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, С.А. Кишикаткин, А.В. Чупишев // Нива Поволжья. – 2013. – № 1 (26). – С. 46-50.
 15. Петрова С.С. К вопросу определения качества смеси у барабанного смесителя / С.С. Петрова, С.А. Кишикаткин, Н.В. Димитриев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 67-72.
 16. Коновалов В.В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2013. – №9 – Т.1. – С.77-85.
 17. Коновалов В.В. Оптимизация параметров барабанного смесителя / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, А.В. Чупишев, В.П. Терюшков // Нива Поволжья. – 2013. – № 4 (29). – С. 41-47.
 18. Мачнев В.А. Теоретическая механика. – Пенза: РИО ПГСХА, 2001. – 140с.
 19. Коновалов В.В. Аналитические аспекты гравитационного смешивания барабанных устройств / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, В.П. Терюшков, А.В. Чупишев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – Т. 1. – № 2. – С. 40-46.

УДК 62-91

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ
РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
НАПРАВЛЕННОГО ИК ЭНЕРГОПОДВОДА**

© *Д.А. Мартяшина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

© *В.А. Авроров, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PLANT MATERIAL DRYING
WITH DIRECTIONAL INFRARED RADIATION**

© *D.A. Martyashina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *V.A. Avrorov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Статья посвящена экспериментальному исследованию процесса сушки растительных материалов с использованием ИК энергоподвода.

Ключевые слова: ИК сушка капиллярно-пористых продуктов, кинетика сушки, барабанная сушилка.

The article is devoted experimental study of the drying process using infrared energy.

Key words: IR drying of capillary-porous products, drying kinetics, the tumble drying.

E-mail: d_alexceevna@mail.ru, avrorov@penzgtu.ru

Создание эффективного сушильного оборудования, обеспечивающего наиболее полное сохранение всех питательных веществ, актуально не только для АПК, но и для небольших перерабатывающих предприятий, пытающихся выпускать наиболее качественную, конкурентоспособную продукцию. Существует большое количество различных способов сушки пищевых материалов, выбор того или иного способа определяется природой материала и требованиями к качеству конечного сухого продукта. К перспективным направлениям способов сушки относят высушивание материала с использованием ИК излучения. При ИК сушке используется весь спектр ИК-излучателей, это позволяет проводить высушивание при невысоких температурах от 50 °С, что позволяет практически полностью сохранить витамины и биологически активные вещества [1].

Экспериментальные исследования процесса сушки растительного материала с использованием направленного ИК энергоподвода, проводились в несколько этапов, в качестве объекта исследования растительного материала была взята тыква, морковь, чернослив, курага. В целях снижения погрешности эксперимент проводился 5 раз, с интервалом в 2 часа.

На первом этапе эксперимента исследовалась пропускательная способность исследуемого растительного материала при воздействии ИК излучения. Результаты исследования показаны на рисунках 1.

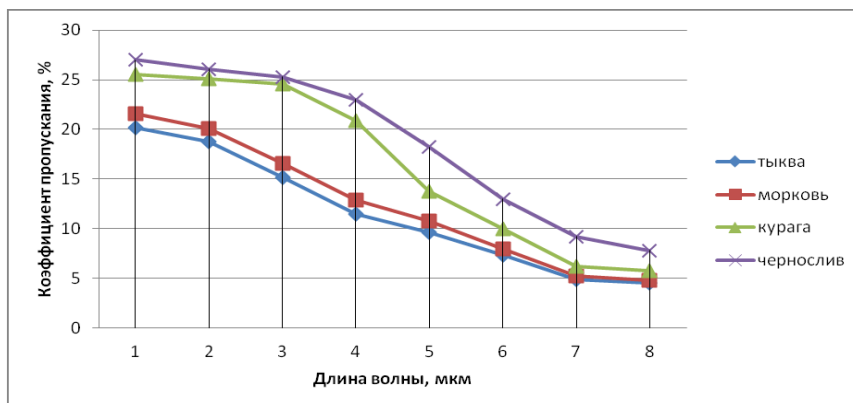


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента пропускания от длины волны

На втором этапе эксперимента исследовалась отражательная способность исследуемого растительного материала при воздействии ИК излучения. Результаты исследования показаны на рисунках 2.

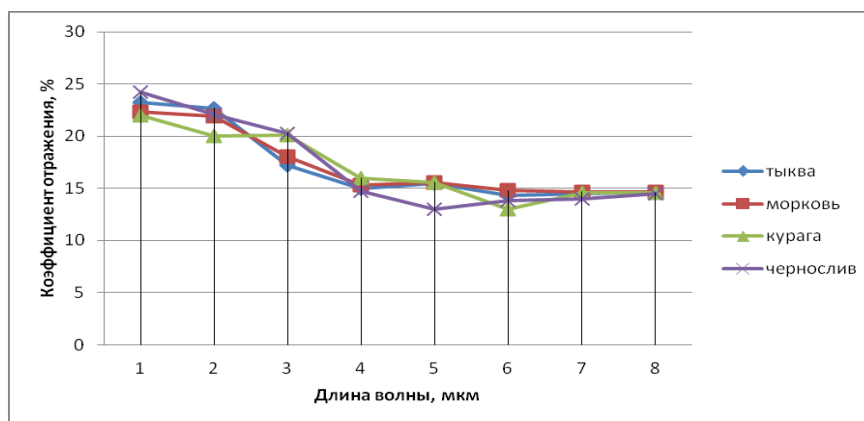


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента отражения от длины волны

На третьем этапе эксперимента исследовалась поглотительная способность исследуемого растительного материала при воздействии ИК излучения. Результаты исследования показаны на рисунках 3.

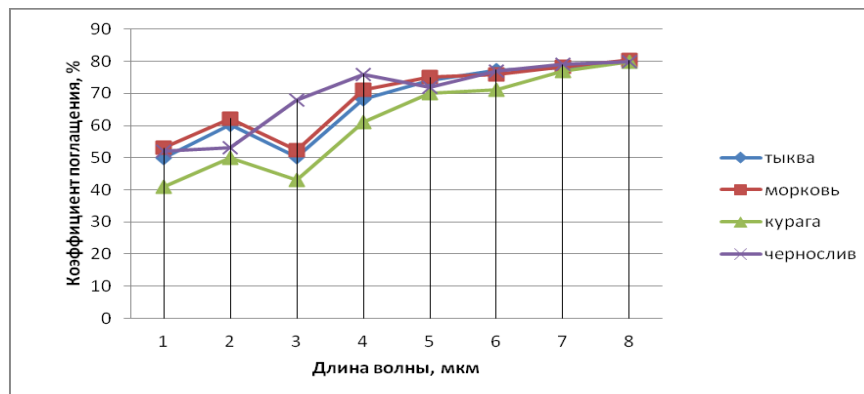


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента поглощения от длины волны

На четвертом этапе проводилось экспериментальное исследование скорости процесса сушки с использованием направленного ИК энергоподвода. Для этого была создана экспериментальная макетная установка. Созданный макет рабочей зоны барабанной сушильной установки состоит из сменных ИК излучателей и вращающегося вокруг неподвижного вала барабана, для загрузки исследуемых образцов. Перемешивание продукта осуществляется за счет реверсивного или одностороннего вращения барабана вручную.

В качестве исследуемого материала был взят чернослив, для определения равномерности процесса сушки измерение скорости сушки осуществлялось на нескольких образцах.

Экспериментальный макет рабочей зоны барабанной сушильной установки показан на рисунке 4 и 5.

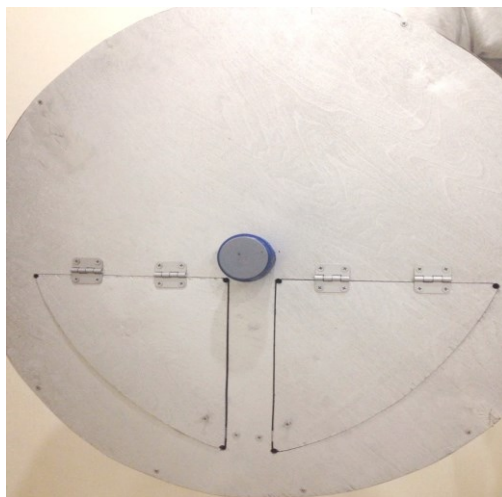


Рисунок 4 – Экспериментальный макет рабочей зоны барабанной сушильной установки

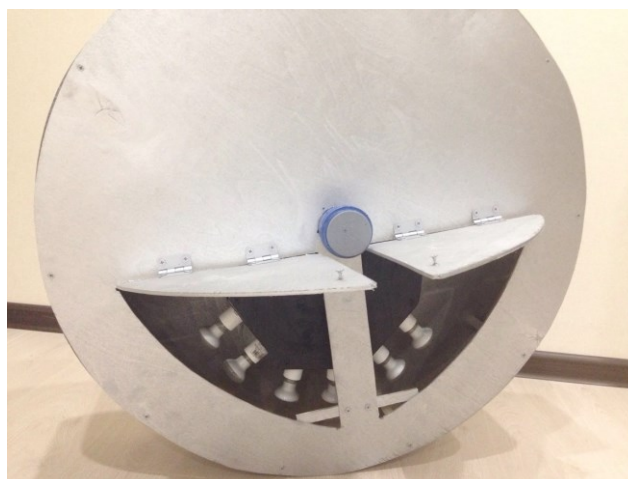


Рисунок 5 – Экспериментальный макет рабочей зоны барабанной сушильной установки

Экспериментальные данные по сушке чернослива при 50, 60, 70 °С приведены в виде кривых сушки в координатах $Uy - \tau$, где Uy – удаляемое влагосодержание, г/г СВ; τ – текущая продолжительность сушки, мин.

Результаты исследования скорости сушки чернослива показаны на рисунке 6.

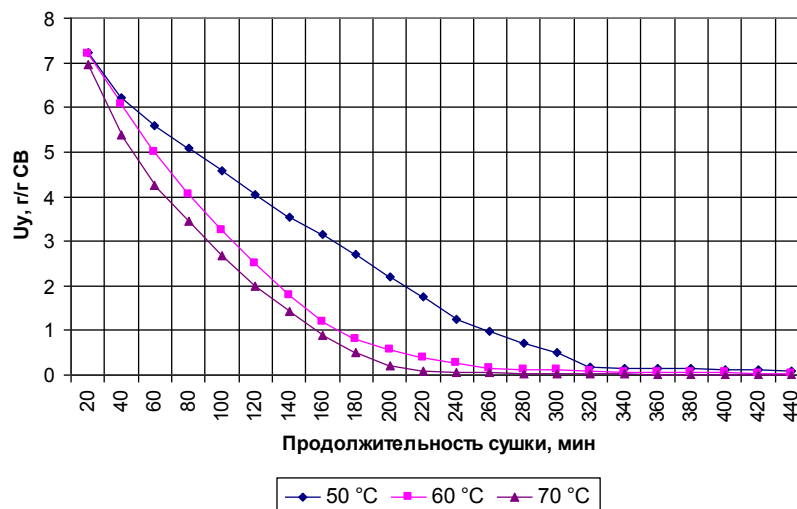


Рисунок 6 – Зависимость влагосодержания в черносливе от продолжительности высушивания

Анализ зависимости влагосодержания в черносливе от продолжительности скорости высушивания показывает, что сушка чернослива протекает в два периода. В начале процесса изменение влажности во времени имеет линейный характер, т. е. протекает первый период постоянной скорости сушки, после первой критической точки, характеризующей достижение поверхностью гигроскопической влажности, скорость сушки уменьшается – наступает период падающей скорости. Появление второй критической точки свидетельствует об углублении зоны испарения внутрь материала, это происходит из-за удаления влаги из микрокапилляров, а в дальнейшем и адсорбционно-связанной влаги [2].

Список литературы

1. Авроров Г.В., Гусева В.Н. Проект линии производства сушеной тыквы // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – П.: Приволжский дом знаний, 2009. с.123.
2. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1973. с. 528.

УДК 636.22.014

ОБОСНОВАНИЕ ДЛИНЫ ЛОПАТОК ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ

© **М.В. Фомина**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия
(г. Пенза, Россия)

© **В.В. Коновалов**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© **В.П. Терюшков**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия
(г. Пенза, Россия)

© **А.В. Чупшев**, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия
(г. Пенза, Россия)

RATIONALE FOR THE LENGTH OF BLADES PADDLE MIXER

© **M.V. Fomina**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

© **V.V. Konovalov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **V.P. Teryushkov**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

© **A.V. Chupshev**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

Приведено описание смесительного аппарата лопастного смесителя и его рабочего процесса при перемещении материала лопастной мешалкой внутри вертикальной емкости. Осуществлена статистическая обработка экспериментальных данных и получены уравнения регрессии неравномерности смеси, затрачиваемой мощности привода, энергоемкости смесеобразования, а так же скорректированной энергоемкости смешения с учетом равномерности смеси. Выявлено отсутствие выраженного экстремума на исследуемом интервале значений факторов. Рациональными значениями для выбранных факторов являются: частота вращения мешалки менее 400 мин⁻¹ и длина лопаток 75 мм.

Ключевые слова: смешивание, лопастной смеситель, лопасть с лопаткой, неравномерность смеси, энергоемкость смесеобразования.

The description of the mixer paddle mixer and workflow when moving material paddle inside the vertical tank. Implemented a statistical analysis of the experimental data and obtained regression equations of uneven mixture expended drive power, energy intensity of mixing, as well as the adjusted energy consumption mix in view of the uniformity of the mixture. The absence of pronounced extrema on the investigated range of values of factors. Rational values for the selected factors are: stirrer speed is less than 400 min⁻¹ and the length of the blades 75 mm.

Key words: mixing, a paddle mixer blade to shoulder blade, uneven mixture, mixing energy consumption.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Актуальность и цели. Промышленность современного общества использует разнообразные смеси [1-4] и получаемые на их основе композиционные материалы [5-8]. Смеси приготавливаются разнообразными устройствами, в т.ч. смесителями [9-11], экструдерами и шнековыми прессами [12].

Для приготовления смесей используются разнообразные устройства. При этом качество смеси эффективно повышается до определенной величины, после чего качество смеси стабилизируется и практически не улучшается [12-16]. Целью исследований является статистическое моделирование процессов лопастной мешалки для определения численных значений конструктивных и кинематических параметров, обеспечивающих технологический процесс лопастного смесителя, а так же выявление рациональных параметров мешалки смесителя.

Материалы и методика исследований.

Для приготовления сухих смесей предлагается использовать смеситель (рис.1) с лопастной мешалкой 6, на краях лопастей которой дополнительно крепятся лопатки 5.

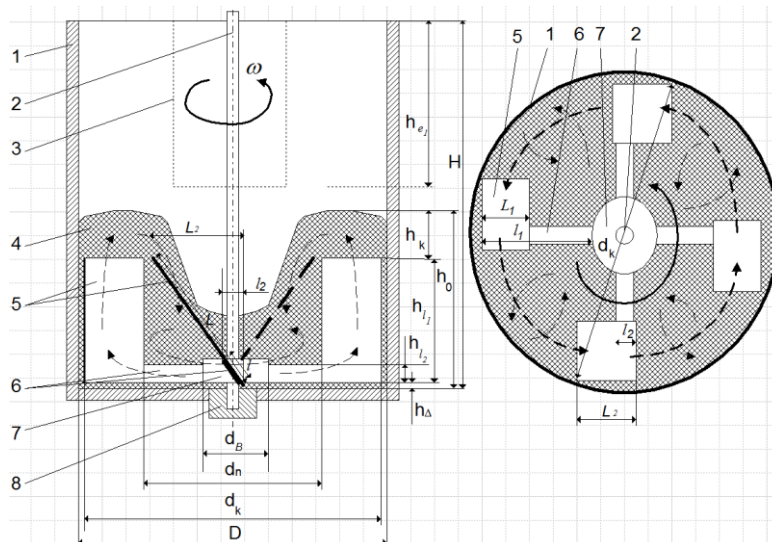


Рисунок 1 – Схема смесительного аппарата: 1 – емкость смесительная;
2 – вал приводной; 3 – емкость смесительная для предварительного смешивания;
4 – материал смеси; 5 – лопатка; 6 – лопасть мешалки; подшипниковая опора верхняя;
7 – втулка крепежная мешалки; 8 – подшипниковая опора нижняя

Смеситель периодического действия представляет собой вертикальную цилиндрическую емкость, внутри которой в подшипниковых опорах 8 установлен приводной вертикальный вал 2. В нижней его части жестко установлена мешалка, состоящая из крепежной втулки 7 к которой крепятся радиально лопасти 6, повернутые от горизонтали на 45° . На их краю установлены лопатки 5. При вращении мешалки осуществляется как окружное, так и радиальное движение смешиваемых компонентов. При радиальном движении лопасти и лопатки подбрасывают смесь вверх. При падении материал отражается лопастями и лопатками, однако его часть достигает дна и под действием центробежных сил материал достигает стенок смесительной емкости, где лопатками материал направляется вверх. В результате избыток материала сыпается к центру емкости над мешалкой. Тем самым, ускоряется радиальная циркуляция материала.

При проведении исследований контрольным компонентом смеси являлись зерна ячменя, внесенные в объеме 1% от массы смеси. При этом количество проб – 20 шт., а масса пробы – 100 г. В качестве наполнителя применяли дерть пшеничную и ячменную при соотношении 1:1 и плотностью 720 кг/м^3 . Исходя из априорной информации [10...14] длительность смешения была 120 сек. Мощность установленного электродвигателя у смесителя – 2,2 кВт. На время исследований установлен электродвигатель мощностью 4 кВт. Обработка результатов эксперимента осуществлялась программой Statistica, а построение двумерных сечений поверхностей откликов факторов – Mathcad.

В экспериментах изменялась частота вращения мешалки в пределах $n=500...1000 \text{ мин}^{-1}$, а на лопасти устанавливались лопатки длиной $L=0...75 \text{ мм}$.

При этом производилось контролирование неравномерности смеси v (коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах), затрачиваемой мощности N привода, энергоёмкости смесеобразования Y , а так же скорректированной энергоёмкости Y_k смешения с учетом равномерности смеси:

$$Y_k = Y / (1 - v/100). \quad (1)$$

Результаты исследований.

В результате обработки полученных данных получено уравнение регрессии с коэффициентом корреляции $R=0,92031189$, описывающее неравномерность смеси v (рис.2), %:

$$v = 153,9891 - 1,8906 L - 0,18455 n + 0,003108 L^2 + 5,34 \cdot 10^{-5} n^2 + 0,001933 \cdot L \cdot n. \quad (2)$$

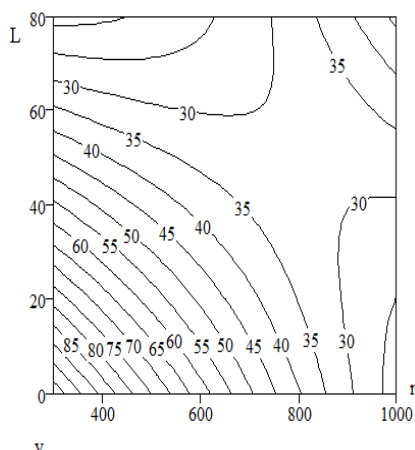


Рисунок 2 – Двумерное сечение поверхности отклика неравномерности смеси v (%) в зависимости от частоты вращения n (мин^{-1}) и длины лопаток L (мм)

С ростом частоты вращения и длины лопастей качество смеси в целом улучшается. Однако, лучшее качество смеси при частоте наблюдается около 400 мин^{-1} при наибольшей (около 75 мм) длине лопаток. При данной длине лопаток рост частоты вращения ухудшает качество смеси.

В результате обработки полученных данных получено уравнение регрессии с коэффициентом корреляции $R=0,98160118$, описывающее затрачиваемую мощность N (рис.3), Вт:

$$N = -255,717 - 10,522 \cdot L + 4,313 \cdot n + 0,206 \cdot L^2 - 0,001 \cdot n^2 + 0,016 \cdot L \cdot n. \quad (3)$$

С увеличением частоты вращения мешалки и длины лопаток повышаются затраты мощности. Мощность привода 2,2 кВт ограничивается в зависимости от длины лопаток частотой вращения до $450 \dots 600 \text{ мин}^{-1}$. При длине лопаток 75 мм должна быть частота вращения менее 450 мин^{-1} .

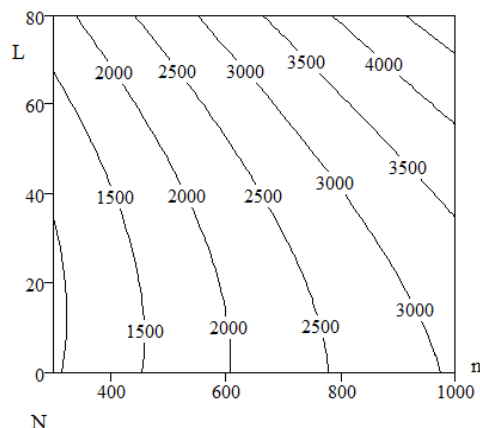


Рисунок 3 – Двумерное сечение поверхности отклика затрачиваемой мощности N (Вт) в зависимости от частоты вращения n (мин⁻¹) и длины лопаток L (мм)

В результате обработки рассчитанных данных получено уравнение регрессии с коэффициентом корреляции $R=0,9988418$, описывающее энергоемкость смешения Y (рис.4), Дж/кг:

$$Y = -2170,16 - 89,3 \cdot L + 36,61 \cdot n + 1,75 \cdot L^2 - 0,01 \cdot n^2 + 0,14 \cdot L \cdot n. \quad (4)$$

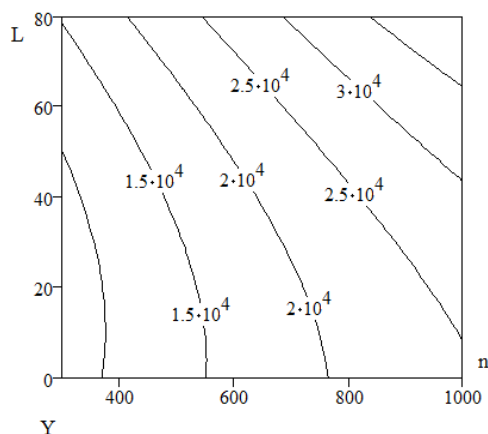


Рисунок 4 – Двумерное сечение поверхности отклика энергоемкости смешения Y (Дж/кг) в зависимости от частоты вращения n (мин⁻¹) и длины лопаток L (мм)

С увеличением частоты вращения мешалки и длины лопаток повышается энергоемкость смесеобразования. При мощности привода 2,2 кВт величина энергоемкости соответствует 15 кДж/кг.

В результате обработки рассчитанных данных получено уравнение регрессии с коэффициентом корреляции $R=0,86565156$, описывающее скорректированную энергоемкость смешения Y_k (рис.5), Дж/кг:

$$Y_k = 70185,53 - 1627,64 \cdot L - 43,12 \cdot n + 8,65 \cdot L^2 + 1,45 \cdot L \cdot n. \quad (5)$$

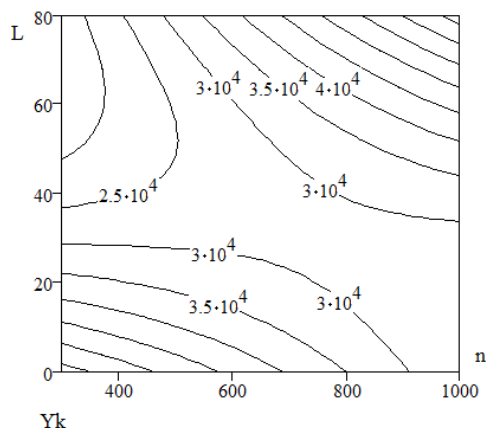


Рисунок 5 – Двумерное сечение поверхности отклика скорректированной энергоёмкости смешения Y_k (Дж/кг) от частоты вращения n (мин⁻¹) и длины лопаток L (мм)

Характер зависимости для исследуемого интервала факторов соответствует ложбине с меньшими значениями энергоёмкости при частоте вращения меньшей 400 мин⁻¹ и длине лопаток порядка 75 мм.

Вывод.

Полученные статистические модели достоверно описывают неравномерность смеси, затрачиваемую мощность привода, энергоёмкость смесеобразования, а так же скорректированную энергоёмкость смешения с учетом равномерности смеси. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об отсутствии выраженного экстремума на исследуемом интервале значений факторов. По характеру изменения неравномерности смешения и скорректированной энергоёмкости смешивания для выбранного интервала значений факторов обоснованными являются: частота вращения мешалки менее 400 мин⁻¹ и длина лопаток 75 мм.

Список литературы

1. Сыроватка В.И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов в хозяйствах // *Техника и оборудование для села.* – 2011. – № 6. – С. 22-25.
2. Чупиев А.В. Оптимизация параметров смесителя по минимуму энергоёмкости перемешивания / А.В. Чупиев, В.В. Коновалов, С.С. Петрова // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2009. – № 3. – С. 72-76.
3. Коновалов В.В. Концентрированные корма обогащенные жиром / В.В. Коновалов, А.А. Курочкин, К.М. Мишин // *Сельский механизатор.* – 2003. – № 1. – С. 30.
4. Чупиев, А.В. К обоснованию параметров быстроходного смесителя / А.В. Чупиев В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, С.С. Петрова // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2008. – № 3. – С. 151-154.
5. Бормотов А.Н. Математическое моделирование структуры композитов в виде рациональных функций по краевым точкам области планирования / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, С.В. Тюрденева // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.* – 2013. – № 12 (16). – С. 272-280.

6. Бормотов А.Н. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 29-36.
7. Бормотов А.Н. Метод построения многофакторных нелинейных моделей на примере математического моделирования композитов специального назначения // А.Н. Бормотов, И.А. Прошин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 264-271.
8. Бормотов А.Н. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.Ю. Курсанов, Е.М. Бородин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 7. – С. 98-104.
9. Чупишев А.В. Влияние диаметра лопастей и их числа на неравномерность смеси и энергоемкость смешивания / А.В. Чупишев, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2008. – № 2. – С. 132-133.
10. Коновалов В.В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2013. – №9 – Т.1. – С.77-85.
11. Коновалов В.В. Аналитическое определение производительности винтового смесителя-конвейера / В.В. Коновалов, А.С. Фомин, В.П., Терюшков А.В. Чупишев // Нива Поволжья. – 2014. – № 1 (30). – С. 63-70.
12. Новиков В.В. Определение объемного расхода экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера / В.В. Новиков, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Н.А. Харыбина, Д.Н. Азиаткин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1 (75). – С. 91-94.
13. Коновалов В.В. Оптимизация параметров барабанного смесителя / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, А.В. Чупишев, В.П. Терюшков // Нива Поволжья. – 2013. – № 4 (29). – С. 41-47.
14. Коновалов В.В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Д.Н. Азиаткин, А.С. Грецов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 72-78.
15. Коновалов В.В. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании / В.В. Коновалов, А.В. Чупишев, М.В. Фомина, А.С. Калиганов // Нива Поволжья. – 2013. – № 3 (28). – С. 77-83.
16. Коновалов В.В. Моделирование подачи материала при разгрузке вертикального смесителя / В.В. Коновалов, А.С. Калиганов, М.В. Фомина, А.В. Чупишев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6 (22). – С. 67-74.

МЕТОДОЛОГИЯ В ПРОЦЕССАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664:681.54: 51-74

МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

© *Е.А. Аксенова, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Зверева, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)*

MODELING METHODOLOGY OF TECHNOLOGICAL OBJECTS OF FOOD PRODUCTION

© *E.A. Aksenova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *V.V. Zvereva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Статья посвящена разработке методики математического моделирования технологических объектов пищевых производств на основе математической модели технологического процесса с помощью имитационного компьютерного моделирования, реализующего алгоритм решения уравнения модели технологического процесса пищевого производства.

Ключевые слова: пищевые производства, математическое моделирование, технологический процесс.

The article is devoted to development of methods of mathematical modeling of technological objects of food production on the basis of a mathematical model of the process by means of computer simulation that implements an algorithm for solving equations of the model of the process of food production.

Key words: food production, mathematical modeling, technological process.

E-mail: alena-brain@yandex.ru, zvv.pgta@yandex.ru

Исследуя сложные системы, технологические объекты, процессы, аппараты и физико-химические явления пищевых производств, нельзя учесть все факторы: какие-то оказываются существенными, а какими-то можно пренебречь [1, 4]. При этом формируется модель объекта исследования. В процессе компьютерного моделирования операции совершаются с тремя объектами: *системой* (реальной, проектируемой, воображаемой), *математической моделью* и *программой ЭВМ*, реализующей алгоритм решения уравнений модели. Традиционная схема компьютерного моделирования, как единого процесса построения и исследования модели, имеющего соответствующую программную поддержку, может быть представлена в следующем виде (рис. 1) [2, 5, 8, 10].

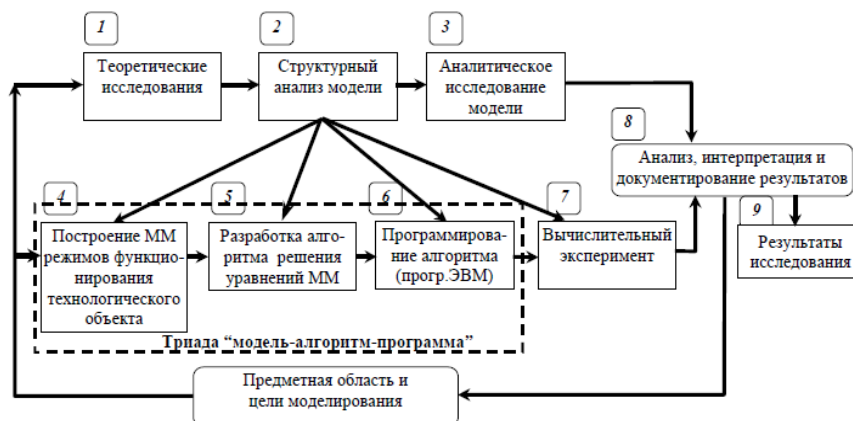


Рисунок 1 – Схема организации процесса компьютерного моделирования

Исходя из того, что компьютерное моделирование применяется для исследования, оптимизации и проектирования реальных технологических объектов (систем), можно выделить следующие этапы этого процесса [6, 8, 2]:

- 1) определение объекта – установление границ, ограничений и измерителей эффективности функционирования объекта;
- 2) формализация объекта (построение модели) – переход от реального объекта к некоторой логической схеме (абстрагирование);
- 3) подготовка данных – отбор данных, необходимых для построения модели, и представление их в соответствующей форме;
- 4) разработка моделирующего алгоритма и программы ЭВМ;
- 5) оценка адекватности – повышение до приемлемого уровня степени уверенности, с которой можно судить относительно корректности выводов о реальном объекте, полученных на основании обращения к модели;
- 6) стратегическое планирование – планирование вычислительного эксперимента, который должен дать необходимую информацию;
- 7) тактическое планирование – определение способа проведения каждой серии испытаний, предусмотренных планом эксперимента;
- 8) экспериментирование – процесс осуществления имитации с целью получения желаемых данных и анализа чувствительности;
- 9) интерпретация – построение выводов по данным, полученным путем имитации;
- 10) реализация – практическое использование модели и результатов моделирования;
- 11) документирование – регистрация хода осуществления процесса и его результатов, а также документирование процесса создания и использования модели.

Перечисленные этапы создания и использования модели определены в предположении, что задача может быть решена наилучшим образом с помощью компьютерного моделирования. Однако это может быть не самый эффективный способ. В том случае, если задача может быть сведена к простой модели и решена аналитически, нет никакой нужды в компьютерном моделировании и имитации. Следует изыскивать все возможные средства, подходящие для решения данной конкретной задачи, стремясь при этом к оптимальному сочетанию

стоимости и желаемых результатов. Прежде чем приступать к оценке возможностей имитации, следует самому убедиться, что простая аналитическая модель для данного случая не пригодна.

В представленной на рис.1 схеме организации процесса компьютерного моделирования (имитации) основная цепочка (реальный технологический объект (система) – математическая модель – моделирующий алгоритм – программа ЭВМ – вычислительный эксперимент) соответствует традиционной схеме, но особенностью моделирования является понятие триады: *модель – алгоритм – программа* (блоки 4, 5, 6), стратегическое и тактическое планирование вычислительного эксперимента (блок 7), интерпретация и документирование его результатов (блок 8).

На первом этапе построения математической модели (ММ) выбирается (или строится) «эквивалент» технологического объекта пищевого производства, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его элементам, и т.д. Математическая модель (или ее фрагменты) исследуется теоретическими методами, что позволяет получить важные предварительные знания об объекте [7].

Второй этап связан с разработкой метода расчета сформулированной математической задачи, или, как говорят, вычислительного или моделирующего алгоритма. Фактически он представляет собой совокупности алгебраических формул, по которым ведутся вычисления, и логических условий, позволяющих установить нужную последовательность применения этих формул. Вычислительные алгоритмы должны не искажать основные свойства модели и, следовательно, исходного технологического объекта, быть экономичными и адаптируемыми к особенностям решаемых задач и используемых компьютеров [7, 9].

Как правило, для одной и той же математической задачи можно предложить множество вычислительных алгоритмов. Однако, требуется построение эффективных вычислительных методов, которые позволяют получить решение поставленной задачи с заданной точностью за минимальное количество действий (арифметических, логических), то есть с минимальными затратами машинного времени.

Вычислительный эксперимент имеет "многовариантный" характер. Действительно, решение любой прикладной задачи зависит от многочисленных входных переменных и параметров. Например, если рассчитывается состав композита или технологическая установка, то имеется множество различных режимных переменных и конструктивных параметров, среди которых нужно определить их оптимальный набор, обеспечивающий эффективное функционирование этой установки. Получить решение соответствующей математической задачи в виде формулы, содержащей явную зависимость от режимных переменных и конструктивных параметров, для реальных задач, как говорилось выше, не удастся. При проведении вычислительного эксперимента каждый конкретный расчет проводится при фиксированных значениях переменных и параметров. Проектируя оптимальную пищевую установку, то есть, определяя в пространстве переменных и параметров точку, соответствующую оптимальному режиму, приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значениями некоторых переменных или параметров. Поэтому очень важно опираться на эффективные численные методы.

Третий этап – создание программы для реализации разработанного моделирующего алгоритма на ЭВМ (создание компьютерной модели). Применение

языков программирования СИ++, Паскаль и им подобных порождает ряд проблем, из которых главными являются трудоемкость и недостаточная гибкость. В процессе исследования реальных систем часто приходится уточнять модели, что влечет за собой перепрограммирование моделирующего алгоритма. Ясно, что процесс моделирования в этом случае не будет эффективным, если не обеспечить его гибкости. Для этой цели можно использовать формальные схемы, описывающие классы математических моделей из определенной предметной области, поскольку пропрограммировать тогда нужно функционирование данной схемы, а не описываемые ею частные модели [7, 3, 2].

Создав триаду «**модель – алгоритм – программа**», исследователь получает в руки универсальный, гибкий и сравнительно недорогой инструмент, который вначале отлаживается, тестируется в «пробных» вычислительных экспериментах. После того как адекватность триады исходному технологическому объекту удостоверена, с моделью можно проводить разнообразные «опыты», дающие все требуемые качественные и количественные свойства и характеристики объекта. Процесс компьютерного моделирования сопровождается улучшением и уточнением, по мере необходимости, всех звеньев триады [2, 5, 7, 8].

Вычислительный эксперимент – блок 7 – это собственно проведение расчетов на ЭВМ и получение информации, представляющей интерес для исследователя. Точность этой информации определяется достоверностью, прежде всего модели, моделирующего алгоритма и программы ЭВМ. Далее проводим тестовые расчеты. Они необходимы не только для того, чтобы "отладить" программу, то есть отыскать и исправить все ошибки и опечатки, допущенные как при создании алгоритма, так и при его программной реализации. В этих предварительных расчетах тестируется также сама математическая модель, выясняется ее адекватность исследуемому объекту. Для этого проводится расчет некоторых контрольных экспериментов, по которым имеются достаточно надежные измерения. Сопоставление этих данных с результатами расчетов позволяет уточнить математическую модель [9].

Только после проведения длительной кропотливой работы в вычислительном эксперименте наступает фаза прогноза (имитации) — с помощью компьютерной модели предсказывается поведение исследуемого объекта в условиях, где натурные эксперименты пока не проводились или где они вообще невозможны.

Важное место в вычислительном эксперименте занимает обработка результатов расчетов, их всесторонний анализ и, наконец, выводы. Эти выводы бывают в основном двух типов: или становится ясна необходимость уточнения модели, или результаты, пройдя проверку, признаются истинными. При оптимизации или проектировании технологического объекта из-за сложности и высокой размерности математической модели проведение расчетов по описанной выше схеме может оказаться чересчур дорогим. И здесь идут на упрощение модели, на построение своего рода инженерных методик (формул), но опирающихся на сложные модели и расчеты и дающих возможность получить необходимую информацию значительно более дешевым способом. При этом проводится огромная предварительная работа по анализу сложных моделей, квинтэссенцией которой и являются простые на первый взгляд формулы.

При массовом использовании методов компьютерного моделирования в технических проектах следует добиваться резкого сокращения сроков разработки моделей, обеспечивающих различные этапы проектирования. Решение этой

задачи возможно при соответствующем уровне развития технологии компьютерного моделирования.

Технология компьютерного моделирования является основой целенаправленной деятельности, смысл которой состоит в обеспечении возможности фактического эффективного выполнения на ЭВМ исследований функционирования сложных систем. С ее помощью организуются действия исследователя на всех этапах его работы с моделями, начиная от изучения предметной области и выделения моделируемой проблемной ситуации и кончая построением и реализацией компьютерных экспериментов для анализа поведения системы.

В заключении, предлагая технологию моделирования технологических процессов пищевых производств, следует отметить два важных аспекта:

1) методологическую составляющую технологии как науки, занимающейся выявлением закономерностей, применение которых на практике позволяет находить наиболее эффективные и экономичные приемы компьютерного моделирования объектов (систем) на ЭВМ;

2) прикладные цели и задачи технологии как искусства, мастерства, умения достигать в ходе компьютерного моделирования сложных объектов практически полезных результатов.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Прошин А.П., Еремкин А.И., Королев Е.В., Бормотов А.Н. Сверхтяжелый бетон для защиты от радиации / *Строительные материалы*. – 2005. – № 8. – С. 6-9.
2. Бормотов А.Н. Многокритериальный синтез композита как задача управления / *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 924-937.
3. Бормотов А.Н., Колобова Е.А. Утилизация серы как отхода переработки нефти при изготовлении радиационно-защитных композиционных материалов / *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2012. – № 2 (06). – С. 200-206.
4. Бормотов А.Н., Кузнецова М.В., Колобова Е.А. Методологические принципы математического моделирования и синтеза композиционных материалов из отходов нефтепереработки / *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2013. – № 2 (38). – С. 85-94.
5. Бормотов А.Н., Кузнецова М.В., Колобова Е.А. Теоретические основы математического моделирования композитов из отходов нефтепереработки / *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2013. – Т. 1. – № 9 (13). – С. 173-182.
6. Бормотов А.Н., Прошин А.П., Данилов А.М., Гарькина И.А. Принцип Парето в управлении качеством материалов / *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2002. – № 11. – С. 42.
7. Бормотов А.Н., Прошин И.А. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2009. – № 4. – С. 29-36.
8. Коновалова И.И., Селезнёва С.В., Коновалов А.Н., Бормотов А.Н. Алгоритм настройки адаптивных регуляторов / *В мире научных открытий*. – 2013. – № 6 (42). – С. 22-33.

9. Королев Е.В., Бормотов А.Н., Иноземцев А.С., Иноземцев С.С. Глетглицериновые строительные материалы для защиты от радиации / Строительные материалы. – 2009. – № 12. – С. 69-71.
10. Прошин А.П., Данилов А.М., Королев Е.В., Смирнов В.А., Бормотов А.Н. Методологические принципы выбора оптимальных наполнителей композиционных материалов / Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 10. – С. 15-20.

УДК 664:681.54: 51-74

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

© *Е.А. Аксенова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Зверева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

MATHEMATICAL MODEL OF TECHNOLOGICAL OBJECTS OF FOOD PRODUCTION

© *E.A. Aksenova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *V.V. Zvereva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье приводится классификация математических моделей технологических объектов пищевых производств. На основе классификации производится выбор и обоснование математических моделей технологических объектов пищевых производств, определение их параметров и структуры, критериев оптимизации и целевых функций.

Ключевые слова: пищевые производства, математическое моделирование, технологический процесс.

The article provides a classification of mathematical models of technological objects of food production. On the basis of the classification made the choice and justification of mathematical models of technological objects of food production, the determination of their parameters and structure optimization criteria and objective functions.

Key words: food production, mathematical modeling, technological process.

E-mail: alena-brain@yandex.ru, zvv.pgta@yandex.ru

В общем случае модель является представлением объекта, системы или понятия (идеи) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования. Модель какого-либо объекта может быть или точной копией этого объекта, или отображать некоторые характерные свойства объекта в абстрактной форме. Модель служит обычно средством, помогающим нам в объяснении, понимании или совершенствовании системы. Можно указать, по крайней мере, пять узаконенных и ставших привычными случаев применения моделей в качестве [2, 4]:

- 1) средства осмысления действительности;
- 2) средства общения;
- 3) средства обучения и тренажа;
- 4) инструмента прогнозирования;
- 5) средства постановки экспериментов.

Иными словами, модель может служить для достижения одной из двух основных целей: либо **описательной**, если модель служит для объяснения и (или) лучшего понимания объекта; либо **предписывающей**, когда модель позволяет предсказать и (или) воспроизвести характеристики объекта, определяющие его поведение. Модель предписывающего типа обычно является и описательной, но не наоборот [5, 7].

Прежде чем начать разработку модели, необходимо понять, что собой представляют структурные элементы, из которых она строится. В самом общем виде структуру модели технологических объектов пищевых производств математически можно представить в виде

$$E = \Phi(y, x, a, \xi),$$

где E – результат действия системы; $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – вектор входных переменных, которыми мы можем управлять; $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ – вектор переменных состояния (когда они характеризуют состояние или условия, имеющие место в объекте (системе)) или выходных переменных (когда речь идет о выходах системы); $a = (a_1, a_2, \dots, a_l)$ – вектор внутренних параметров объекта (системы); $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)$ – вектор неопределенных параметров (часть входных переменных и внутренних параметров системы, значения которых мы не знаем точно) и возмущающих воздействий.

Компонентами векторов x и y являются расходы и составы потоков веществ, концентрации веществ, температура, давление в потоках, и т.п., компонентами вектора a – коэффициенты и параметры, характеризующие свойства перерабатываемых веществ, физико-химические процессы в системе (константы скоростей химических реакций, коэффициенты тепло- и массообмена, диффузии и т.п.), геометрические размеры и конструктивные особенности технологического оборудования [9].

В зависимости от масштаба технологической системы и наших предположениях о его свойствах математические модели (ММ) принимают конкретный вид. Можно говорить о ММ технологической машины или аппарата, технологического процесса, производства, предприятия и даже целой отрасли. Эти ММ отличаются одна от другой полнотой учета и глубиной описания различных процессов в системе, а также размерностями векторов y , x , a , ξ и вектор-функций Φ их связи $E = \Phi(y, x, a, \xi)$. Если, например, ММ аппарата содержит чаще всего не более 10–15 уравнений, то в модель производства, предприятия и тем более отрасли может входить несколько десятков или сотен уравнений [3].

Функциональные зависимости Φ описывают поведение переменных и внутренних параметров в пределах компонента системы или выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения, или операционные характеристики, по своей природе являются либо *детерминированными*, либо *стохастическими*. Детерминированные соотношения – это тождества или определения, которые устанавливают зависимость между определенными переменными или параметрами системы в тех случаях, когда процесс на выходе системы однозначно определяется заданной информацией на входе. В отличие от этого стохастические соотношения представляют собой такие зависимости, которые при заданной входной информации дают на выходе системы неопределенный результат. Оба типа соотношений обычно выражаются математическими уравнениями, которые устанавливают зависимость между переменными состояния (выходными) системы y , ее входными переменными x , внутренними параметрами системы a и возмущающими воздействиями (неопределенными

параметрами) ξ . Обычно эти соотношения строятся на основе гипотез или выводятся с помощью статистического или математического анализа [8].

При построении моделей технологических объектов обычно вводят ограничения, представляющие собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия распределения и расходования тех или иных ресурсов (энергии, материалов, запасов сырья, времени и т.п.). Они могут вводиться либо разработчиком (искусственные ограничения), либо самой системой вследствие присущих ей свойств (естественные ограничения) [6].

Целевая функция или критерий E – это точное отображение целей или задач системы и необходимых правил оценки их выполнения. Можно указать два типа целей: *сохранение* и *приобретение*. Цели сохранения связаны с сохранением или поддержанием каких-либо ресурсов (временных, энергетических, творческих и т.д.) или состояний (безопасности, комфорта, качественных показателей выпускаемой продукции и т.д.). Цели приобретения связаны с приобретением новых ресурсов (прибыли, более высокого качества, заказчиков и т.п.) или достижением определенных состояний, к которым стремится предприятие или руководитель (завоевание части рынка, повышение уровня занятости, экологической безопасности и т.п.). Целевая функция (критерий) обычно является органической составной частью модели, и весь процесс манипулирования с моделью направлен на удовлетворение или улучшение заданного критерия [2, 5, 10].

Модели можно классифицировать различными способами, хотя ни один из них не является полностью удовлетворительным. Укажем некоторые типовые группы моделей:

- 1) натурные, аналоговые, символические;
- 2) экспериментальные (регрессионные) и аналитические;
- 3) статические и динамические;
- 4) детерминированные и стохастические;
- 5) дискретные и непрерывные.

Различие ММ обуславливается их назначением: исследование эффективности режимов функционирования технологических объектов; оптимизация установившихся (статических) и переходных (динамических) режимов их работы; оптимальное проектирование технологических объектов и управление ими. Структура и вид уравнений ММ зависят от свойств объекта.

Поведение технологического объекта с сосредоточенными координатами y, x в статике и неизменными во времени t свойствами (стационарный объект) описывается уравнениями ММ вида

$$F[y, x, a, \xi] = 0 \text{ или } y = f(x, a, \xi).$$

ММ статики нестационарного объекта с сосредоточенными координатами (квазистатическая модель) представляет собой систему уравнений вида

$$F[y, x, a(t), \xi] \approx 0, \quad \frac{da}{dt} = f_1(y, a, \xi)$$

Поведение технологического объекта с сосредоточенными координатами y, x в динамике и неизменными во времени t свойствами описывается уравнениями ММ вида

$$F\left[\frac{dy}{dt}, y(t), x(t), a, \xi\right] = 0 \quad \text{или} \quad \frac{dy}{dt} = f(y(t), x(t), a, \xi)$$

ММ динамики нестационарного объекта с сосредоточенными координатами представляет собой систему уравнений вида

$$F\left[\frac{dy}{dt}, x(t), a(t), \xi\right] \approx 0, \quad \frac{da}{dt} = f_1(y(t), a, \xi)$$

Если координаты объекта x , y распределены по пространственной переменной l (длина, радиус, высота) и его свойства неизменны во времени t , то мы имеем дело со стационарными ММ статики или динамики технологического объекта с распределенными координатами, которые имеют вид, соответственно:

$$F\left[\frac{dy}{dl}, y(l), x(l), a(l), \xi\right] = 0, \quad F\left[\frac{\partial y}{\partial t}, \frac{\partial y}{\partial l}, y(t, l), x(l), a(l), \xi\right] = 0.$$

По структуре F ММ технологических объектов разделяются на *линейные* и *нелинейные*. Решение $y(x, a)$ системы уравнений ММ, линейной по y , удовлетворяет следующим условиям (принципу суперпозиции):

- 1) аддитивности $y(x_1 + x_2, a) = y(x_1, a) + y(x_2, a)$;
- 2) однородности $y(c \times x, a) = c \times y(x, a)$;

где x_1 и x_2 – произвольные функции t , l или некоторые числа; c – любое вещественное число.

Решение $y(x, a)$ называется линейным по a , если

$$y(x, a_1 + a_2) = y(x, a_1) + y(x, a_2); \text{ и } y(x, c \times a) = c \times y(x, a),$$

где a_1, a_2 – произвольные параметры ММ.

Если для некоторой ММ не выполняется хотя бы одно из условий принципа суперпозиции, то она относится к классу нелинейных [1, 2, 5].

Математические модели технологических объектов пищевых производств чаще всего описываются *нелинейными* уравнениями.

Компьютерное моделирование – процесс создания модели реального технологического объекта и проведения с этой моделью вычислительных экспериментов с целью осмысления поведения объекта, оптимизации его режимов или оценки различных стратегий управления этим объектом. Согласно этому определению, модель должна быть связана с функционированием объекта, ориентирована на решение поставленной задачи (целеобусловлена) и построена так, чтобы служить основой для проектирования объекта или управления режимами его функционирования. Функционирование объекта представляет собой совокупность координированных действий, необходимых для достижения заданной цели или решения определенной задачи. С этой точки зрения технологическим объектам пищевых производств свойственна целенаправленность. Это обстоятельство требует при моделировании технологического объекта учитывать цели и задачи, которые должен решать данный технологический объект.

«Хорошая» модель должна быть: 1) простой и понятной пользователю; 2) целенаправленной; 3) надежной в смысле гарантии от абсурдных ответов; 4) удобной в управлении и обращении; 5) полной с точки зрения возможностей решения поставленных задач; 6) адаптивной, т.е. позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные; 7) допускающей постепенные изменения в том смысле, что, будучи вначале простой, она может во взаимодействии с пользователем становится все более сложной и точной.

Основой успешной методики компьютерного моделирования должна быть тщательная отработка моделей. Начав с очень простой модели, постепенно продвигаемся к более совершенной ее форме, отражающей сложную ситуацию более точно. Этот процесс совершенствования и отработки связан с учетом постоянного процесса взаимодействия и обратной связи между реальной ситуацией

и моделью. Между процессом модификации модели и процессом обработки данных, генерируемых реальным объектом, имеет место непрерывное взаимодействие. Таким образом, моделирование состоит в способности анализировать проблему, выделять из нее путем абстракции ее существенные черты, выбирать и должным образом модифицировать предположения, характеризующие систему, а затем отрабатывать и совершенствовать модель до тех пор, пока она не станет давать полезные для практики результаты.

Разработка и применение компьютерных моделей все еще в большей степени искусство, нежели наука. Следовательно, как и в других видах искусства, успех или неудача определяется не столько методом, сколько тем, как он применяется.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Прошин А.П., Еремкин А.И., Королев Е.В., Бормотов А.Н. Сверхтяжелый бетон для защиты от радиации / *Строительные материалы*. – 2005. – № 8. – С. 6-9.
2. Бормотов А.Н. Многокритериальный синтез композита как задача управления *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 924-937.
3. Бормотов А.Н., Колобова Е.А. Утилизация серы как отхода переработки нефти при изготовлении радиационно-защитных композиционных материалов / *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2012. – № 2 (06). – С. 200-206.
4. Бормотов А.Н., Кузнецова М.В., Колобова Е.А. Методологические принципы математического моделирования и синтеза композиционных материалов из отходов нефтепереработки / *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2013. – № 2 (38). – С. 85-94.
5. Бормотов А.Н., Кузнецова М.В., Колобова Е.А. Теоретические основы математического моделирования композитов из отходов нефтепереработки / *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2013. – Т. 1. – № 9 (13). – С. 173-182.
6. Бормотов А.Н., Прошин А.П., Данилов А.М., Гарькина И.А. Принцип Парето в управлении качеством материалов / *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2002. – № 11. – С. 42.
7. Бормотов А.Н., Прошин И.А. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2009. – № 4. – С. 29-36.
8. Коновалова И.И., Селезнёва С.В., Коновалов А.Н., Бормотов А.Н. Алгоритм настройки адаптивных регуляторов / *В мире научных открытий*. – 2013. – № 6 (42). – С. 22-33.
9. Королев Е.В., Бормотов А.Н., Иноземцев А.С., Иноземцев С.С. Глетглицериновые строительные материалы для защиты от радиации / *Строительные материалы*. – 2009. – № 12. – С. 69-71.
10. Прошин А.П., Данилов А.М., Королев Е.В., Смирнов В.А., Бормотов А.Н. Методологические принципы выбора оптимальных наполнителей композиционных материалов / *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2004. – № 10. – С. 15-20.

УДК 534.11

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

© *М.И. Вольников, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

© *В.Ю. Зайцев, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Бурков, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

MATHEMATICAL MODELLING OF DYNAMICS OF BEAM STRUCTURES USING THE FINITE DIFFERENCE METHOD

© *M.I. Volnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *V.J. Zajtsev, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *V.V. Burkov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассматривается математическое моделирование колебаний консольных балок с применением метода конечных разностей. Данный метод может быть применен для расчета других видов балочных конструкций, ферм и т.п.

Ключевые слова: конечные разности, статические прогибы, свободные и вынужденные колебания.

The article is devoted the mathematical modeling of vibrations of cantilever beams using the method of finite differences. This method can be applied to calculate other types of beam structures, farms, etc.

Key words: finite difference, static bending, free and forced vibrations.

E-mail: vmi1972@yandex.ru, vluzai@gmail.com, pgta_aiu@mail.ru.

Балки являются основным и простейшим конструктивным элементом, работающим на изгиб. Их широко применяют в конструкциях гражданских, общественных и промышленных зданий, в том числе и пищевой промышленности. Балочные конструкции подвергаются как статическим, так и динамическим нагрузкам. Силовые составляющие вызываются как гравитационными силами, так и работой оборудования: мешалок теста, транспортёров и других устройств. Кроме постоянных гармонических воздействий, нагрузки могут иметь вибрационный характер, например от работы сепараторов или молотильных машин. При этом амплитуда колебаний конструкций может достигать критического значения, при котором конструкция может начать разрушаться.

Актуальность проблемы состоит в предотвращении возникновения сверхкритических колебаний. Для этого необходимо провести предварительный расчет динамики рассматриваемых конструкций, определив возможные прогибы и амплитуды колебаний, а в случае выхода этих амплитуд за критические параметры, принять меры по защите объекта [1-6].

Существует множество методов, которые можно применить для теоретического расчета балочных конструкций в пищевой промышленности [1,2]. Такими являются: метод конечных элементов, методы дискретизации и начальных параметров. Приближенными могут служить оценки, получаемые энергетическим методом, методом конечных разностей, а также по формулам Рэлея, Граммеля, Дункерля и др.

Применим метод конечных разностей, который называют также методом сеток, для расчета параметров колебаний консольного стержня. Он состоит в следующем [7].

Вся область тела: ось балки, площадь пластины, поверхность оболочки, покрывается сеткой линий, точки пересечения которых называют **узлами**. Неизвестные определяют лишь в узлах сетки. Для этого строят конечно-разностные операторы-аналоги дифференциальных операторов. Граничные условия также представляют в конечных разностях. В результате вместо дифференциального уравнения в частных производных приходится составлять и решать систему линейных алгебраических уравнений. Точность метода конечных разностей прямо зависит от густоты сетки: чем гуще сетка, тем точнее решение.

Используем конечно-разностный подход для движения по геометрической и временной координатам. Схема балки показана на рисунке 1.

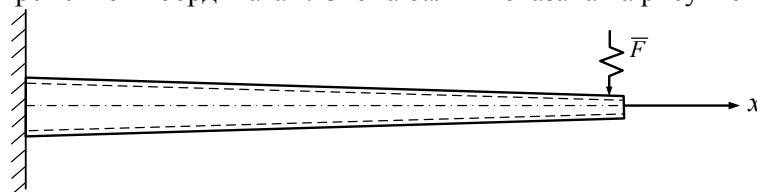


Рисунок 1 – Схема балки

Представим балку в виде модели ступенчатой консоли. Ее физическая модель представлена на рисунке 2.

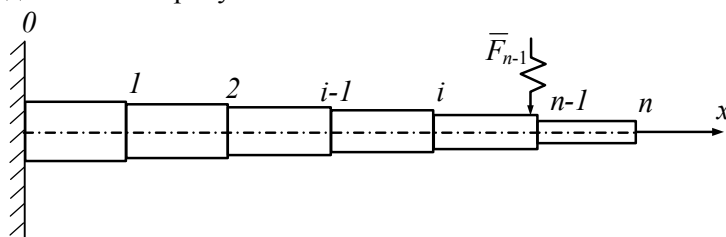


Рисунок 2 – Физическая модель ступенчатой консоли

Тогда расчетная схема примет вид (рисунок 3).

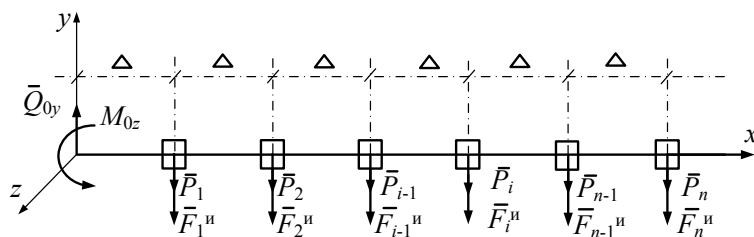


Рисунок 3 – Расчетная схема

Прогибы балки обозначим v_i (рисунок 4).

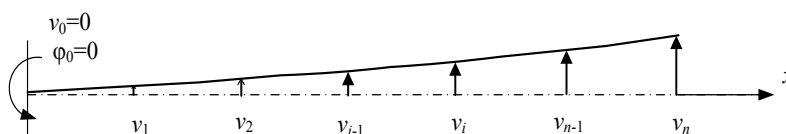


Рисунок 4 – Прогибы балки

Уравнения статического равновесия консоли с n узлами имеет вид:

$$\frac{EJ_i}{\Delta^2} v_i'' + M_{0z} - i\Delta Q_{0y} + \Delta \sum_{j=0}^{i-1} jP_j = 0, \quad \text{где } i \text{ принимает значения от}$$

$1, \dots, n-1$, где i – номер узловой точки.

В центрально-разностной форме вторая производная от прогибов имеет вид

$$v_i'' = \frac{(v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}))}{\Delta^2} \quad (1)$$

Для консольной балки с 6 узлами уравнения в развернутой форме будут иметь вид:

$$\frac{EJ_1}{\Delta^2} (v_0 - 2v_1 + v_2) + M_{0z} - \Delta Q_{0y} = 0,$$

$$\frac{EJ_2}{\Delta^2} (v_1 - 2v_2 + v_3) + M_{0z} - 2\Delta Q_{0y} + \Delta P_1 = 0,$$

$$\frac{EJ_3}{\Delta^2} (v_2 - 2v_3 + v_4) + M_{0z} - 3\Delta Q_{0y} + 2\Delta P_1 + \Delta P_2 = 0,$$

$$\frac{EJ_4}{\Delta^2} (v_3 - 2v_4 + v_5) + M_{0z} - 4\Delta Q_{0y} + 3\Delta P_1 + 2\Delta P_2 + \Delta P_3 = 0, \quad (2)$$

$$\frac{EJ_5}{\Delta^2} (v_4 - 2v_5 + v_6) + M_{0z} - 5\Delta Q_{0y} + 4\Delta P_1 + 3\Delta P_2 + 2\Delta P_3 + \Delta P_4 = 0,$$

$$Q_{0y} - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 0 \quad \text{или} \quad Q_{0y} - \sum_{j=1}^n P_j = 0,$$

$$M_{0z} - l \cdot Q_{0y} + 5\Delta P_1 + 4\Delta P_2 + 3\Delta P_3 + 2\Delta P_4 + \Delta P_5 = 0 \quad \text{или}$$

$$M_{0z} - lQ_{0y} + \Delta \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)P_j = 0.$$

Добавим граничные условия для закрепленного конца. Угол поворота в защемлении:

$$\varphi_0 = v_0' = \frac{1}{12\Delta} (-25v_0 + 48v_1 - 36v_2 + 16v_3 - 3v_4) = 0 \quad (3)$$

Примем, что балка имеет постоянное сечение. Тогда $P_i = P$, $l = 6\Delta$.

Получим систему уравнений. В матричной форме при

$J_i = J = \text{const}$ на имеет вид $av = b$, где

$$a = \begin{pmatrix} -2A & A & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\Delta \\ A & -2A & A & 0 & 0 & 0 & 1 & -2\Delta \\ 0 & A & -2A & A & 0 & 0 & 1 & -3\Delta \\ 0 & 0 & A & -2A & A & 0 & 1 & -4\Delta \\ 0 & 0 & 0 & A & -2A & A & 1 & -5\Delta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -6\Delta \\ 48 & -36 & 16 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad v = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ M_{0z} \\ Q_{0y} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ -\Delta p \\ -3\Delta p \\ -6\Delta p \\ -10\Delta p \\ 6p \\ -15\Delta p \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$A = \frac{EJ}{\Delta^2}.$$

В качестве примера найдем статические прогибы для балки постоянного сечения со следующими параметрами [8]:

$$l = 200 \text{ мм};$$

$$\text{диаметр стержня } D = 12 \text{ мм};$$

$$\text{толщина стенок } d = 2 \text{ мм};$$

$$\text{модуль упругости } E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па};$$

$$\text{Масса стержня } m_{cm} = 77.5 \text{ г}$$

Тогда

$$\Delta = \frac{l}{6} = 0.033 \text{ м};$$

$$m_i = \frac{77.5 \cdot 10^{-3}}{6} = 12.92 \cdot 10^{-3} \text{ кг};$$

$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = 8.2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4$$

$$EJ = 163.36 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

$$p_i = (m_i \cdot 9.8) \text{ Н}$$

Вектор значений статических прогибов [8]:

$$v_1 = -2.685 \cdot 10^{-7}, v_2 = -9.645 \cdot 10^{-7}, v_3 = -1.946 \cdot 10^{-6},$$

$$v_4 = -3.098 \cdot 10^{-6}, v_5 = -4.336 \cdot 10^{-6}, v_6 = -5.602 \cdot 10^{-6}.$$

Составим уравнения свободных колебаний балки. В уравнения статического равновесия добавятся силы инерции $F_i'' = m_i \ddot{v}_i$ и моменты сил инерции

$$M_i'' = \sum_{i=1}^5 \Delta(i-1) F_i''.$$

Представим силы инерции в виде центрально-разностных выражений по временной координате

$$F_i = \frac{m_i}{(\Delta t)^2} (v_{i,t-1} - 2v_{i,t} + v_{i,t+1}). \quad (5)$$

Тогда уравнения свободных колебаний консоли будут иметь вид

$$\frac{EJ_i}{\Delta^2} v_i'' + M_{0z} - i\Delta Q_{0y} + \Delta \sum_{j=0}^{i-1} j P_j + M_i'' = 0, \quad i = 1, \dots, n-1$$

$$Q_{0y} - \sum_{j=1}^n P_j + \sum_{i=1}^n F_i'' = 0 \quad (6)$$

$$M_{0z} - l Q_{0y} + \Delta \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) P_j + \Delta \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) F_i'' = 0$$

$$\varphi_0 = v_0' = \frac{1}{12\Delta} (-25v_0 + 48v_1 - 36v_2 + 16v_3 - 3v_4) = 0$$

В развернутом виде:

$$\begin{aligned}
 & \frac{EJ_1}{\Delta^2} (v_0 - 2v_1 + v_2) + M_{0z} - \Delta Q_{0y} = 0 \\
 & \frac{EJ_2}{\Delta^2} (v_1 - 2v_2 + v_3) + M_{0z} - 2\Delta Q_{0y} + \Delta P_1 + \frac{\Delta m_1}{(\Delta t)^2} (v_{1,t-1} - 2v_{1,t} + v_{1,t+1}) = 0 \\
 & \frac{EJ_3}{\Delta^2} (v_2 - 2v_3 + v_4) + M_{0z} - 3\Delta Q_{0y} + 2\Delta P_1 + \Delta P_2 + \frac{2\Delta m_1}{(\Delta t)^2} (v_{1,t-1} - 2v_{1,t} + v_{1,t+1}) + \\
 & + \frac{\Delta m_2}{(\Delta t)^2} (v_{2,t-1} - 2v_{2,t} + v_{2,t+1}) = 0 \\
 & \frac{EJ_4}{\Delta^2} (v_3 - 2v_4 + v_5) + M_{0z} - 4\Delta Q_{0y} + 3\Delta P_1 + 2\Delta P_2 + \Delta P_3 + \frac{3\Delta m_1}{(\Delta t)^2} (v_{1,t-1} - 2v_{1,t} + v_{1,t+1}) + \\
 & + \frac{2\Delta m_2}{(\Delta t)^2} (v_{2,t-1} - 2v_{2,t} + v_{2,t+1}) + \frac{\Delta m_3}{(\Delta t)^2} (v_{3,t-1} - 2v_{3,t} + v_{3,t+1}) = 0 \\
 & \frac{EJ_5}{\Delta^2} (v_4 - 2v_5 + v_6) + M_{0z} - 5\Delta Q_{0y} + 4\Delta P_1 + 3\Delta P_2 + 2\Delta P_3 + \Delta P_4 + \frac{4\Delta m_1}{(\Delta t)^2} (v_{1,t-1} - 2v_{1,t} + v_{1,t+1}) + \\
 & + \frac{3\Delta m_2}{(\Delta t)^2} (v_{2,t-1} - 2v_{2,t} + v_{2,t+1}) + \frac{2\Delta m_3}{(\Delta t)^2} (v_{3,t-1} - 2v_{3,t} + v_{3,t+1}) + \frac{\Delta m_4}{(\Delta t)^2} (v_{4,t-1} - 2v_{4,t} + v_{4,t+1}) = 0 \\
 & Q_{0y} - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - \sum \frac{m_i}{(\Delta t)^2} (v_{i,t-1} - 2v_{i,t} + v_{i,t+1}) = 0, \\
 & i = 1..6 \\
 & M_{0z} - l \cdot Q_{0y} + 5\Delta P_1 + 4\Delta P_2 + 3\Delta P_3 + 2\Delta P_4 + \Delta P_5 + \\
 & + \sum_{i=1}^5 \frac{i\Delta m}{(\Delta t)^2} (v_{6-i,t-1} - 2v_{6-i,t} + v_{6-i,t+1}) = 0
 \end{aligned}$$

Зададим начальные условия движения.

1) $v_{i,0} = 2v_{ист}$, где v_{cm} - перемещение при $F_i = 0$

2) $\dot{v}_{i,0} = 0$ или $\frac{v_{i,1} - v_{i,0}}{\Delta t} = 0 \Rightarrow v_{i,1} = v_{i,0}$ те

В матричной форме уравнения имеют вид:

$$av = b, \quad (8)$$

где

$$a = \begin{pmatrix} -2A & A & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\Delta \\ A + \frac{m\Delta}{t^2} & -2A & A & 0 & 0 & 0 & 1 & -2\Delta \\ \frac{2m\Delta}{t^2} & A + \frac{m\Delta}{t^2} & -2A & A & 0 & 0 & 1 & -3\Delta \\ \frac{3m\Delta}{t^2} & \frac{2m\Delta}{t^2} & A + \frac{m\Delta}{t^2} & -2A & A & 0 & 1 & -4\Delta \\ \frac{4m\Delta}{t^2} & \frac{3m\Delta}{t^2} & \frac{2m\Delta}{t^2} & A + \frac{m\Delta}{t^2} & -2A & A & 1 & -5\Delta \\ -\frac{m}{t^2} & -\frac{m}{t^2} & -\frac{m}{t^2} & -\frac{m}{t^2} & -\frac{m}{t^2} & -\frac{m}{t^2} & 0 & 1 \\ \frac{5m\Delta}{t^2} & \frac{4m\Delta}{t^2} & \frac{3m\Delta}{t^2} & \frac{2m\Delta}{t^2} & \frac{m\Delta}{t^2} & 0 & 1 & -6\Delta \\ \frac{48}{t^2} & -\frac{36}{t^2} & \frac{16}{t^2} & -\frac{3}{t^2} & \frac{0}{t^2} & \frac{0}{t^2} & \frac{0}{t^2} & \frac{0}{t^2} \end{pmatrix}, \text{ М}$$

$$v = (v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad v_4 \quad v_5 \quad v_6 \quad M_{oz} \quad Q_{0y})^T,$$

$$b = \begin{pmatrix} 0 \\ -\Delta P - \frac{m\Delta(v_{01} - 2v_1)}{t^2} \\ -3\Delta P - \frac{2m\Delta(v_{01} - 2v_1)}{t^2} - \frac{m\Delta(v_{02} - 2v_2)}{t^2} \\ -6\Delta P - \frac{3m\Delta(v_{01} - 2v_1)}{t^2} - \frac{2m\Delta(v_{02} - 2v_2)}{t^2} - \frac{m\Delta(v_{03} - 2v_3)}{t^2} \\ -10\Delta P - \frac{4m\Delta(v_{01} - 2v_1)}{t^2} - \frac{3m\Delta(v_{02} - 2v_2)}{t^2} - \frac{2m\Delta(v_{03} - 2v_3)}{t^2} - \frac{m\Delta(v_{04} - 2v_4)}{t^2} \\ 6P + \frac{m}{t^2}((v_{01} - v_1) + (v_{02} - v_2) + (v_{03} - v_3) + (v_{04} - v_4) + (v_{05} - v_5) + (v_{06} - v_6)) \\ -15\Delta P - \frac{m\Delta(v_{05} - 2v_5)}{t^2} - \frac{2m\Delta(v_{04} - 2v_4)}{t^2} - \frac{3m\Delta(v_{03} - 2v_3)}{t^2} - \frac{4m\Delta(v_{02} - 2v_2)}{t^2} - \frac{5m\Delta(v_{01} - 2v_1)}{t^2} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Начальные отклонения балки $v_{0,i} = 2v_{ict}$, $v_{1,i} = 2v_{ict}$

$$v_{0,1} = -5.37 \cdot 10^{-7}, v_{0,2} = -1.929 \cdot 10^{-6}, v_{0,3} = -3.892 \cdot 10^{-6},$$

$$v_{0,4} = -6.196 \cdot 10^{-6}, v_{0,5} = -8.672 \cdot 10^{-6}, v_{0,6} = -1.12 \cdot 10^{-5}$$

Решая систему уравнений (8) на каждом шаге по времени находим серию положений узловых сечений стержня. График колебаний конца балки представлен на рисунке 5.

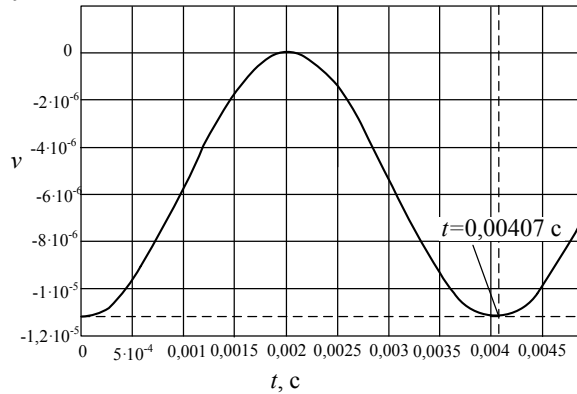


Рисунок 5 – График колебаний конца балки

Период колебаний консоли равен:

$$T \approx 0.00407c$$

Рассмотрим вынужденные колебания консоли. Для этого к концу консоли приложим гармонически изменяющуюся нагрузку:

$$F = F_0 \cos\left(m \frac{2\pi\tau}{T}\right), \quad (9)$$

где $\frac{2\pi}{T} = \omega$ – круговая частота, m – множитель, F_0 – амплитуда возмущающей силы. Тогда в систему уравнений добавится выражение для вынуждающей силы и ее моментов. В случае приложения силы F к концу консоли $M_n(F) = 0$. Тогда система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{EJ_i}{\Delta^2} v_i'' + M_{0z} - i\Delta Q_{0y} + \Delta \sum_{j=0}^{i-1} jP_j + M_i'' &= 0, \quad i = 1, \dots, n-1 \\ Q_{0y} - \sum_{j=1}^n P_j + \sum_{i=1}^n F_i'' + F_0 \cos\left(m \frac{2\pi\tau}{T}\right) &= 0 \\ M_{0z} - lQ_{0y} + \Delta \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)P_j + \Delta \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)F_i'' &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\varphi_0 = v_0' = \frac{1}{12\Delta} (-25v_0 + 48v_1 - 36v_2 + 16v_3 - 3v_4) = 0$$

Построим амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) колебания конца консоли при установившихся колебаниях через $t = 30T = 0.12 \text{ сек}$ (рисунок 5). Расчетные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные данные для построения АЧХ

$\frac{\omega}{\omega_0}$	Амплитуда, $W \times 10^{-6}$	$\frac{\omega}{\omega_0}$	Амплитуда, $W \times 10^{-6}$
0,4	3	1	93.5
0,5	3.1	1,05	27.3
0,6	3.5	1,1	14.1
0,7	4.2	1,15	9.1
0,8	5.5	1,2	7.06
0,85	7.3	1,3	4.9
0,9	10.4	1,4	3.7
0,95	21.6	1,5	3

На рисунке 6 показана АЧХ конца консоли в абсолютных величинах.

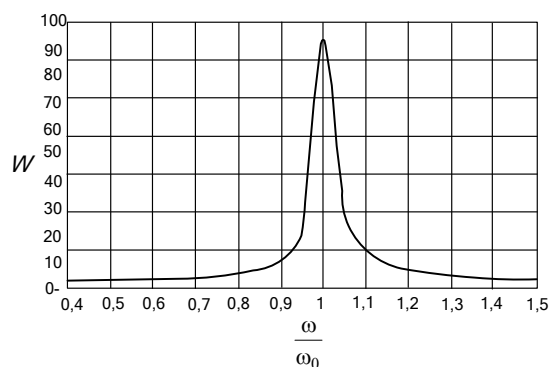


Рисунок 6 – АЧХ конца консоли

Данный метод обладает простотой применения и достаточной точностью и может быть применен для расчета других видов балочных конструкций, ферм и т.п.

Список литературы

1. Вольников, М.И. Математическое моделирование динамики гетерогенных стержневых структур: д. канд. техн. наук / М.И. Вольников. – Пенза, 2007. – 176 с.
2. Вольников, М.И. Математическое моделирование динамики гетерогенных стержневых структур: автореф. дис. работы канд. техн. наук. / М.И. Вольников. – Пенза, 2007. – 21 с.
3. Вольников, М.И. Моделирование виброударозащиты гетерогенных структур / М.И. Вольников, В.В. Смогунов, О.А. Вдовикина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – №6, 2006. – С. 373 – 379.
4. Вольников, М.И. Устранение вибраций на сельскохозяйственных машинах с помощью дискретных рабочих сред: моделирование и экспериментальные исследования / М.И. Вольников, И.А. Прошин // Нива Поволжья. – 2015. – № 2 (35). – С. 91-99.
5. Вольников, М.И. Модели динамических гасителей колебаний на дискретных средах / М.И. Вольников, В.В. Смогунов, О.А. Вдовикина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2007. №3. – С. 94 - 98.
6. Зайцев, В.Ю. Конструкторско-технологические методы защиты трубопроводов от поперечных, продольных и крутильных колебаний / В.Ю. Зайцев, Е.М. Бородин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 2 (24). – С. 156-162.
7. Вольников М.И. Анализ гашения колебаний при помощи ДРС с использованием метода конечных разностей / М.И. Вольников, А.И. Шеин // Актуальные проблемы современного строительства: Труды междунар. научно-техн. конф. (22-25 апреля 2007 г.). – Пенза: ПГУАС, 2007. – С. 95 –99.
8. Вольников, М.И. Расчет прогибов консольного стержня с использованием метода конечных разностей / М.И. Вольников, М.А. Скаморин // Современные проблемы развития техники и технологий: Труды междунар. научно-прак. конф. (05-31 мая 2016 г.). – Пенза: ПензГТУ, 2016. – С. 127-132.

УДК 664.97; 66.081.63

МЕМБРАННЫЕ МЕТОДЫ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ АМИНОКИСЛОТ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

© *В.А. Лазарев, Уральский государственный экономический университет
(г. Екатеринбург, Россия)*

© *Г.Б. Пищиков, Уральский государственный экономический университет
(г. Екатеринбург, Россия)*

MEMBRANE METHODS OF CONCENTRATING AMINO ACIDS OF MILK WHEY

© *V.A. Lazarev, Ural State University of Economics (Yekaterinburg, Russia)*

© *G.B. Pishchikov, Ural State University of Economics (Yekaterinburg, Russia)*

В статье показана ценность молочной сыворотки, как вторичного сырьевого ресурса. Раскрыт качественный и количественный аминокислотный состав исходной и концентрированной молочной сыворотки. Раскрыто влияние некоторых аминокислот на организм человека. Показаны основные преимущества баромембранных процессов. Приведено сравнение полимерных и керамических мембран по надежности. Предложен способ концентрирования аминокислот молочной сыворотки. Показаны подробные результаты анализа аминокислотного состава сгущенной посредством ультрафильтрации на керамических мембранах творожной сыворотки производства ООО «ПМК» (г. Полевской), полученные на аминокислотном анализаторе ААА 339 Микротехна, н.п. ПРАГА 4.

Ключевые слова: молочная сыворотка, ультрафильтрация, аминокислоты, баромембранная технология, керамические и полимерные мембраны.

In the article shown the value of whey as a secondary raw materials. A qualitative and quantitative amino acid composition of the initial whey and concentrated whey is disclosed. The influence of certain amino acids on the human body is disclosed. It outlines the main advantages of the baromembrane processes. The method for thickening of the milk whey using membrane technology are given. Comparison of the polymeric and ceramic membranes for reliability are given. The detailed results of the analysis of amino acid composition thickened by ultrafiltration on the ceramic membranes of cheese whey produced company "PMC" (Polevskoi) obtained on amino-analyzer AAA 339 Mikrotechna, scientific production PRAGUE 4 are shown.

Key words: whey, ultrafiltration, amino acids, baromembrane technology, ceramic and polymeric membranes.

E-mail: lazarev.eka@gmail.com; gbp@k66.ru

В последние годы в молочной отрасли Российской Федерации сохраняется тенденция к импортозамещению, так как молочные продукты занимают особое положение в рационе питания населения. Среди таких продуктов можно выделить сыры и творог, содержащие полезные компоненты, усвояемость организмом которых достигает 95-97%. Объемы производства сыров и творога, в сравнении с 2014 годом, возросли на 22,5% [5]. Но, несмотря на это, молочная промышленность остро нуждается в конкурентоспособных импортозамещающих технологиях.

При производстве сыров и творога в большом объеме образуется вторичное сырье – молочная сыворотка. К сожалению, многие предприятия утилизируют молочную сыворотку, при этом теряя источник различных полезных компонентов и прибыль. Состав молочной сыворотки согласно ГОСТ Р 53438–2009 приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Состав исходной молочной сыворотки (средние значения)

Параметры, %	Сыворотка творожная	Сыворотка подсырная
Белок общий	0,9	0,7
Лактоза	4,3	4,9
Жир	0,4	0,1
Минеральные вещества	0,7	0,6
Сухие вещества	6,2	6,4

Известно, что молочная сыворотка содержит как связанные аминокислоты, находящиеся в сыворотке в виде цепи, так и малое количество свободных аминокислот. В лабораторных условиях Уральского государственного экономического университета на аминокислотном анализаторе ААА 339 Микротехна, н.п. ПРА-ГА 4 был определен качественный и количественный состав творожной сыворотки производства ООО «МПК» (г. Полевской) по аминокислотам. Исследованию подвергалась только часть сыворотки, взятая без осадка. В табл. 2 представлены результаты качественного и количественного анализа аминокислотного состава белкового раствора творожной сыворотки до концентрирования.

Таблица 2 – Качественный и количественный аминокислотный состав творожной сыворотки по аминокислотам.

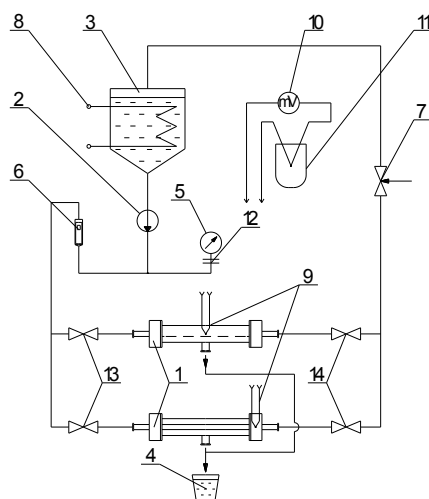
Аминокислота	Количество вещества, мг/л	Массовая доля, %
цистеиновая	6,91	4,39
таурин	9,13	5,61
аспаргиновая	19,26	11,22
треонин	0,73	0,47
серин	7,12	5,21
глутаминовая	57,01	30,01
пролин	10,02	6,70
глицин	0,73	0,75
аланин	3,86	3,35
цитруллин	1,20	0,53
валин	6,29	4,13
цистеин	0,12	0,04
метионин	0,39	0,20
изолейцин	2,84	1,67
лейцин	4,43	2,59
тирозин	2,81	1,19
фенилаланин	4,20	1,96
лизин	25,16	13,24
гистидин	6,68	3,31
аргинин	7,78	3,43
ВСЕГО	176,67	100

Из результатов исследования видно, что творожная сыворотка производства ООО «МПК» (г. Полевской) содержит заменимые аминокислоты, способные синтезироваться в организме человека, и незаменимые, которые в организме человека синтезироваться не могут и должны поступать с пищей. В исследованной сыворотке несколько больше глютаминовой аминокислоты, способствующей метаболизму мозга, участвующей в метаболизме других аминокислот; лизина, способствующего образованию антител, восстановлению костных и соединительных тканей и аспаргиновой аминокислоты, задействованной в формировании ДНК и РНК и повышающей активность иммунной системы [2, с.39-41].

Учитывая то, что творожная сыворотка богата практически всеми незаменимыми и заменимыми аминокислотами, но в исходной сыворотке их концентрация мала, целесообразно производить её концентрирование. Способов концентрирования творожной сыворотки достаточно много, но наиболее современным и эффективным методом считают мембранную технологию, к основным преимуществам которой относятся:

- возможность регулирования качественного и количественного состава продуктов путем комбинирования различных мембранных процессов;
- глубокая переработка вторичных сырьевых ресурсов;
- низкие энергетические затраты по сравнению с тепловыми методами;
- отсутствие теплового воздействия на продукт.

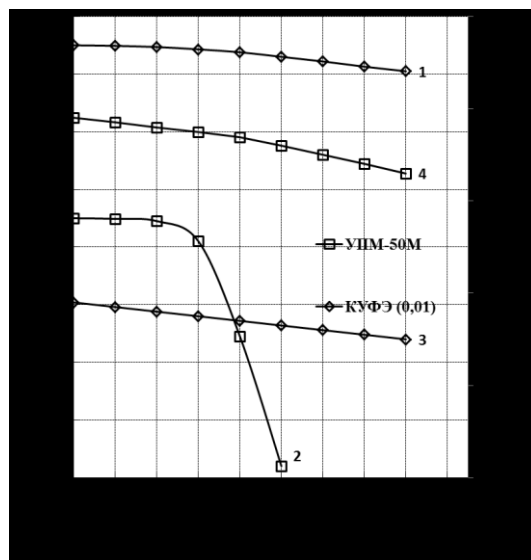
Согласно литературным данным, оптимальным баромембранным процессом для концентрирования белков является ультрафильтрация [3, с.32]. Для изучения процесса концентрирования аминокислот молочной сыворотки методом ультрафильтрации была разработана установка, схема которой представлена на рисунке 1.



- 1 – мембранная ячейка; 2 – насос; 3 – циркуляционный бак; 4 – бак для пермеата;
5 – манометр; 6 – ротаметр; 7 – клапан регулировочный;
8 – змеевик с клапаном; 9 – термopар; 10 – милливольтметр; 11 – сосуд Дьюара;
12 – разделитель; 13, 14 – клапаны.

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для изучения ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки

Принцип действия установки основан на разделении исследуемой сыворотки в УФ ячейке на два потока – поток, прошедший через мембрану (пермеат), и поток, оставшийся над мембраной (концентрат). Для этого, в циркуляционный бак 3 заливается исследуемая сыворотка в объеме от 25 до 40 дм³. При открытом вентиле 7 включается насос 2, устанавливается определенный расход, контролируемый ротаметром 6, и, регулировкой вентилей 7 устанавливается необходимое давление в ячейке 1, которое контролируется манометром 5. Температурный режим процесса регулируется с помощью змеевика с клапаном 8 и контролируется с помощью термопары 9 и милливольтметра 10. Прошедший через УФ мембрану пермеат отводится в мерный бак 4 [4, с.33-36]. Так как ультрафильтрация возможна как на полимерных, так и на керамических, то необходимо обосновать выбор того или иного типа мембран. Важной характеристикой мембран является их надежность, т.е. способность сохранять свои характеристики в период длительной эксплуатации. В экспериментах использовались следующие типы мембран: листовая полисульфонамидная УПМ-50М производства ЗАО НТЦ «Владипор» (г. Владимир), а так же керамическая мембрана серии КУФЭ на основе диоксида титана (анатазной модификации), с нанесенным селективным слоем α -оксида алюминия модификации (0,01) производства ООО «НПО Керамикфилтр» (г. Москва). Для обоснованного выбора типа мембран было проведено испытание разделением молочной сыворотки в течение 200 часов с перерывами на 45 минут после 5-8 часов работы (рисунок 2). Исследования показали, что характеристики полимерной мембраны УПМ-50М сохраняются только первые 45-50 часов работы, а затем проницаемость мембраны начинает значительно снижаться. Для керамической мембраны КУФЭ (0,01) наблюдалось незначительное снижение селективности и проницаемости в течение всего периода исследования.



1,2 – $G(\tau)$; 3,4 – $\varphi(\tau)$

Рисунок 2 – Зависимость селективности и проницаемости УФ мембран по белку молочной сыворотки от времени эксплуатации, при $P=0,3$ МПа; $C=0,8\%$ ВМВ; $t=20^{\circ}\text{C}$

Таким образом, целесообразно концентрировать молочную сыворотку на керамических мембранах КУФЭ(0,01) производства «НПО Керамикфилтър», г. Москва, при этом селективность по белку достигает 97%. Параметры творожной сыворотки производства ООО «ПМК» (г. Полевской) после концентрирования методом ультрафильтрации на керамических мембранах КУФЭ (0,01) приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Показатели творожной сыворотки после ультрафильтрации на керамических мембранах КУФЭ (0,01)

Параметры, %	Сыворотка творожная	
	концентрат	пермеат
Белок общий	8,45	0,01
Лактоза	4,27	4,25
Жир	3,30	0,01
Минеральные вещества	0,70	0,65
Сухие вещества	16,72	4,91

На аминоксанолизаторе ААА 339 Микротехна, н.п. ПРАГА 4 был определен качественный и количественный аминокислотный состав концентрированной творожной сыворотки производства ООО «ПМК» (г. Полевской) после ультрафильтрации. Анализировался только белковый раствор. В табл. 4 представлены результаты исследования.

Таблица 4 – Аминокислотный состав концентрированной творожной сыворотки (в растворе)

Аминокислота	Количество вещества, мг/л	Массовая доля, %
цистеиновая	11,73	4,55
таурин	8,37	3,14
аспаргиновая	24,19	8,61
треонин	0,40	0,16
серин	9,51	4,25
глутаминовая	65,34	21,02
пролин	24,54	10,02
глицин	8,99	5,63
аланин	7,95	4,2
цитрулин	1,81	0,49
валин	10,37	4,16
цистин	2,11	0,41
метионин	0,36	0,12
изолейцин	6,23	2,23
лейцин	9,57	3,43
тирозин	0,99	0,26
фенилаланин	1,66	0,47
лизин	71,59	23,02
гистидин	5,59	1,7
аргинин	7,90	2,13
ВСЕГО	279,2	100

Как показали исследования, аминокислоты белка в растворе сконцентрировались примерно 2 раза, хотя по суммарной массе белка в растворе и осадке степень концентрирования достигла 10. Исходя из этого, можно сделать вывод, что большая часть аминокислот при ультрафильтрации на керамических мембранах КУФЭ (0,01) переходит именно в белковый осадок. Это вызвано различными факторами, в том числе расхождениями по молекулярной массе аминокислот и конформацией их молекул. Для того, чтобы выделить из творожной сыворотки в чистом виде определенную аминокислоту, необходимо разорвать пептидную связь между аминокислотами при помощи кислоты, щелочи или протеолитических ферментов (протеаз) [1, с.33], но данный метод достаточно сложен и не гарантирует сохранения ценности аминокислот, поэтому представляется интересным применение мембран различных типов и марок для выделения из молочной сыворотки определенных аминокислот без применения химических веществ.

Список литературы

1. Волькенштейн М.В. // *Биофизика. Учебное пособие*. – 4 изд. – Санкт-Петербург, Лань, 2012.
2. Гараева С. Н. *Аминокислоты в живом организме* / Гараева С.Н., Редкозубова Г.В., Постолати Г.В.; Акад. наук Молдовы, Ин-т физиологии и санокреатологии, 2009.
3. Тимкин В.А., Лазарев В.А. *Производство концентрата молочной сыворотки баромембранными методами* // *Специализированный отраслевой журнал «Переработка молока»*, №5 (176), Москва, 2014.
4. Тимкин В.А., Пищиков Г.Б., Мазина О.А., Лазарев В.А. *Концентрирование аминокислот молочной сыворотки баромембранными методами* // *Всероссийский научный журнал «Аграрный вестник Урала»* №1 (143), 2016.
5. *Электронная газета «Российская газета»*. [Электронный ресурс]. – <http://rg.ru/2015/09/01/syr.html>. – *Российская Бизнес-газета*. – №1013 (34), 2015.

УДК 621.923.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© *А.Д. Нелюдов*, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© *М.В. Донцова*, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

THE RESEARCH OF THERMAL TENSION AT PROFILE GRINDING OF DETAILS MACHINES OF FOOD INDUSTRY

© *A.D. Neludov*, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© *M.V. Dontsova*, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье приведена методика экспериментального исследования температурно-силовых характеристик при профильном шлифовании. Предложена схема установки термопар, которая позволяет определять распределение температур по профилю шлифуемой поверхности. На основе метода планирования и анализа эксперимента была разработана модель тангенциальной

составляющей силы резания при профильном шлифовании, которая устанавливает зависимость силы P_z от режимов обработки.

Ключевые слова: контактная температура, усилия резания, профильное шлифование, технологические режимы

The article describes the methodology of experimental research of temperature and strength characteristics with profile grinding. The scheme of thermocouple installation that allows you to determine the temperature distribution on the surface of profile. Based on the method of planning and analysis of the experiment was tangential component of cutting force model in profile grinding, which establishes the dependence of force P_z from treatment modes.

Key words: temperature, cutting force, profile grinding, technological modes

E-mail: dontmv@mail.ru, nelyudalex@mail.ru

Современное отечественное и зарубежное машиностроение характеризуется расширением номенклатуры деталей машин разных классов, в том числе деталей со сложным профилем. Подтверждением этого является заметная тенденция к росту объема и номенклатуры таких деталей в пищевой и перерабатывающей промышленности, технологическом оборудовании и т.п. Применение рабочих поверхностей сложного профиля в пищевых машинах и автоматах всегда подчинено определённой цели и является вынужденной необходимостью. Такие детали входят в узлы и механизмы современных пищевых машин.

Для изготовления фасонных деталей машин и оборудования пищевой промышленности широко применяется профильное шлифование. При этом основными причинами возникновения дефектов являются температурно-силовые воздействия шлифовального круга на обрабатываемую заготовку. Поэтому большой практический интерес представляет изучение температурно-силовых характеристик процесса профильного шлифования.

Для анализа температурного состояния зоны шлифования и поверхностных слоев обрабатываемой детали была разработана методика регистрации термоэдс и усилий резания.

Исследования проводили на плоскошлифовальном станке модели 3Е71В, который был подвергнут модернизации, позволяющей производить изменение частоты вращения шпинделя и профилирование шлифовального круга.

Для измерения составляющих силы резания при врезном шлифовании использовался специальный динамометр на пластинчатых упругих элементах.

Конструкция динамометра приведена на рисунке 1.

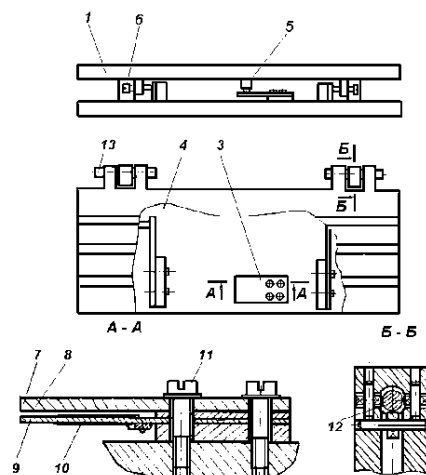


Рисунок 1 – Конструкция специального динамометра

Стальным основанием 1 динамометр устанавливается на магнитной плите плоскошлифовального станка. Основание имеет проушины, в каждой из которых закреплено по три шариковых подшипника, служащих направляющими для осей 12 верхней плиты 2. Горизонтально расположенные подшипники служат для компенсации осевой силы P_x , возникающей при шлифовании изделий с несимметричной формой профиля. Подшипники с горизонтально расположенными осями являются двумя точками опоры для верхней плиты. Третьей точкой опоры является подшипник 5, передающий усилие P_y на упругий элемент 3.

Усилие P_z воспринимается упругими элементами 4. Регулировка положения плиты и начального усилия, необходимого для выбора зазоров, производится регулировочными винтами 6. Для уменьшения массы колеблющихся частей и повышения частоты собственных колебаний динамометра верхняя плита изготавливается из легкого сплава. Зажимные приспособления, в которых устанавливаются образцы, также изготавливаются из легкого сплава и закрепляются на верхней плите болтами в Т-образных пазах.

Измеряемая нагрузка прикладывается к сменному упругому элементу 7, упругость которого, в основном определяет жесткость и чувствительность системы. При нагружении элемент деформируется (прогибается) и передает эту деформацию через стальной шарик 8 на основной упругий элемент 9, на котором наклеены тензодатчики 10. Во избежание воздействия паров охлаждающей жидкости, тензодатчики покрыты водостойкой пленкой. В случае необходимости изменения чувствительности динамометра, следует заменить только сменный упругий элемент, что существенно повышает оперативность работы при проведении экспериментальных исследований.

Шлифуемые образцы крепятся в зажимном приспособлении, установленном на верхней плите динамометра. Для исключения влияния погрешности от возможного упругого отжатия врезная подача производилась как при прямом, так и при обратном ходе стола станка.

Исследование температурного поля велось при помощи одноэлектродной (полуискусственной) термопары. Термоэлектроды изготавливались из медной изолированной проволоки толщиной 0,09 мм. Шлифуемый образец, профиль которого представляет собой дугу окружности радиусом 6 мм, состоял

из двух половин, в одной из которых электроэрозионным методом прорезались канавки радиусом 0,05мм и глубиной 0,1мм на расстоянии 2мм друг от друга. Канавки заливались бакелитовым лаком, после чего, не давая ему просохнуть, укладывались термоэлектроды и образец зажимался в тисках. После полного высыхания лака весь комплект устанавливался в зажимное приспособление, а выводы термоэлектродов припаивались к специальной колодке. Перед шлифованием выступающие части термоэлектродов срезались заподлицо с обрабатываемой поверхностью. Плоскость разъема образца также заливалась лаком, что предохраняло горячий спай от попадания охлаждающей жидкости. Такая схема заделки позволяет исследовать закономерность изменения температуры при любых режимах шлифования без перемонтажа термопары.

В процессе шлифования верхняя часть термоэлектрода срезается и благодаря пластическим деформациям проволока «размазывается» по поверхности образца и образуется горячий спай термопары медь - обрабатываемый материал. Тщательное рассмотрение места получения горячего спая термопары под микроскопом показало, что термопара измеряет температуру в зоне контакта, усредняя ее по глубине порядка 0,002...0,005мм. Малый диаметр термоэлектрода делает термопару практически безынерционной.

Схема заделки термопар показана на рисунке 2.

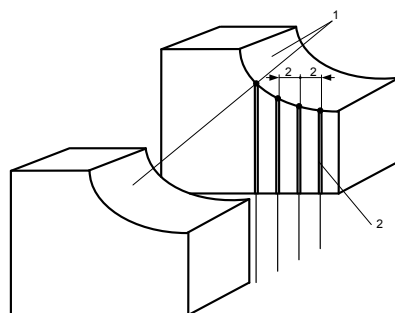


Рисунок 2 – Схема заделки термопар
(1 – две составные половины шлифуемого образца; 2 – термопары)

Такая установка термопар позволяла определять распределение температур по профилю шлифуемой поверхности.

Параллельно с измерением температуры производилось измерение составляющих усилия резания P_y и P_z .

Для этого использовался специальный динамометр на пластинчатых упругих элементах. Обработка и анализ сигналов от датчиков, регистрирующих усилия резания P_y и P_z , а также термоэдс от термопар, проводилась на специальном стенде, функциональная схема которого приведена на рисунке 3.

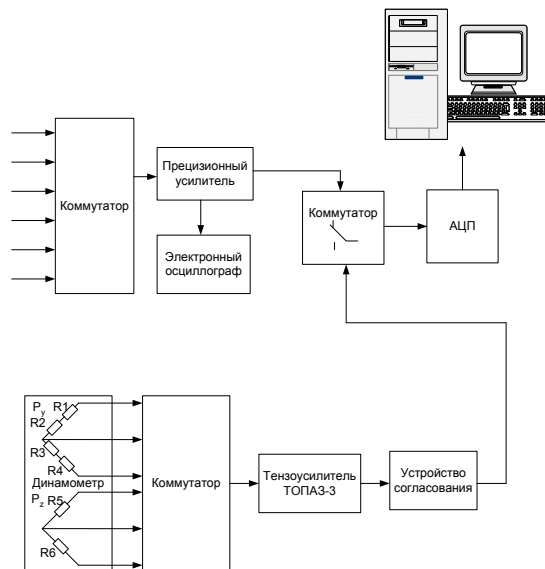


Рисунок 3 – Функциональная схема стенда для измерения температуры и сил резания

При определении усилий резания сигналы от тензодатчиков специального динамометра поступают на тензоусилитель ТОПА3-3. Коммутатор позволяет осуществлять последовательное подключение датчиков, регистрирующих радиальную P_y и тангенциальную P_z составляющую силы резания. Поскольку амплитуда сигнала на выходе тензоусилителя превышает максимальную амплитуду сигнала на входе аналого-цифрового преобразователя (АЦП), составляющую 0,25В, то применялось устройство согласования.

Для измерения температур в зоне контакта шлифовального круга с изделием, термоэдс от соответствующей термопары поступала на прецизионный усилитель, с выхода которого сигнал поступает на вход АЦП. Контрольная регистрация термоэдс производилась запоминающим электронным осциллографом С8-9А.

Переключение сигналов от системы измерения составляющих силы резания и контактной температуры осуществляется коммутатором. АЦП осуществляет соответствующее преобразование сигналов и подачу их в компьютер.

Для записи и обработки сигналов использовался программный пакет DART^RPRO 32 фирмы DARTECH. L1, позволяющий произвести визуальную регистрацию значений составляющих силы резания P_z и P_y , а также контактных температур.

На основании полученных данных была разработана модель для исследования силового режима профильного шлифования на основе метода планирования экстремальных экспериментов [1]:

$$y_{P_z} = 104t^{0,62}V_{и}^{0,64}V_{кр}^{-0,53}, \quad (1)$$

где t – глубина шлифования, мм;

$V_{и}$ – скорость продольной подачи, м/мин,

$V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Зависимости тангенциальной составляющей силы резания от режимов обработки, полученные по формуле 1, приведены на рисунках 4, 5.

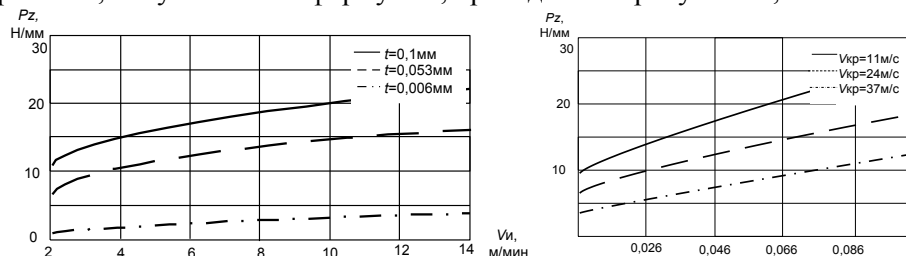


Рисунок 4 – Зависимость силы резания P_z

а - от скорости продольной подачи при различных значениях глубины шлифования;

б - от глубины шлифования при различной скорости круга

Анализ графиков показывает, что увеличение глубины шлифования и скорости продольной подачи, вызывает рост тангенциальной составляющей силы резания. Это объясняется увеличением толщины срезаемого слоя, площади контакта и трения связки об обрабатываемую деталь. При этом увеличение скорости продольной подачи оказывает более интенсивное влияние на тангенциальную составляющую силы резания, чем глубина шлифования.

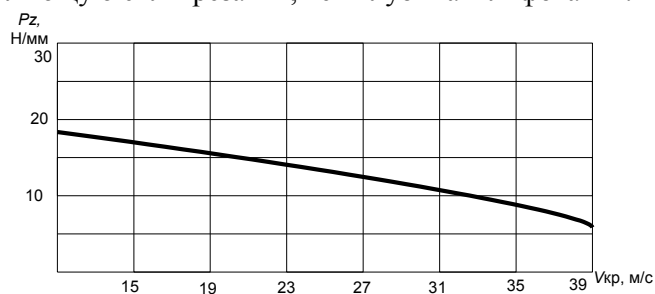


Рисунок 5 – Влияние скорости круга на силу резания P_z

Как видно из графика, повышение скорости круга приводит к снижению тангенциальной составляющей силы резания, что объясняется увеличением числа зерен, участвующих в резании в единицу времени. В результате уменьшается толщина слоя, срезаемого одним алмазным зерном, и снижается сила резания.

Таким образом, на основе метода планирования и анализа эксперимента, было получено выражение для расчета тангенциальной составляющей силы резания при профильном шлифовании, которое устанавливает зависимость силы P_z от режимов обработки.

Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279с.
2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 621.317

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЕМКОСТИ ДАТЧИКОВ¹

© *П.И. Артамонов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *Е.С. Дементьева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *А.А. Кузьмин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

USE OF STRUCTURAL AND TEMPORAL REDUNDANCE IN TRANSFORMERS CAPACITIES OF SENSORS

© *P. I. Artamonov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *E. S. Dementeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *A. A. Kuzmin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Рассмотрен принцип построения и реализации преобразователей ёмкости датчиков в унифицированные сигналы, ориентированных на использование в промышленных информационно-управляющих системах. В схемах преобразователей организуется структурная и временная избыточность.

Ключевые слова: преобразователи ёмкости, информационно-управляющие системы, структурная и временная избыточность.

The principle of construction and implementation of sensors capacity converters into standardized signals being oriented to the usage in industrial information and control systems is considered in the article. There is structural and time redundancy in converters circuitry.

Key words: capacity transformers, management information systems, structural and temporal redundancy.

Для решения актуальной задачи измерения выходных параметров датчиков, в том числе ёмкостных, разработаны и продолжают создаваться различные измерительные устройства и системы, зачастую, достаточно сложные (см. например, [1]).

В то же время многие возникающие в данной области измерительной техники проблемы могут быть решены просто и эффективно с использованием одного из перспективных направлений совершенствования измерительных средств – введения структурной и/или алгоритмической избыточности [2]. Создание в измерительной схеме подсистемы «датчик – преобразователь» разделенных пространственно или во времени дополнительных каналов преобразования сигнала, несущего информацию о параметрах эквивалентной схемы датчика (информативного сигнала), позволяет значительно упростить результирующие функции преобразования, исключить из них ряд параметров, обусловленных

¹ Статья подготовлена при поддержке Гранта РФФИ №16-38-00893.

действием влияющих факторов, и обеспечить отдельный отсчет по каждому из искомых параметров эквивалентной схемы датчика [3]. Другой важной задачей является обеспечение метрологической надежности.

Формально введение избыточности эквивалентно формированию дополнительных уравнений так называемого промежуточного преобразования информативных сигналов. Решения этих уравнений, включающих также параметры схемы преобразователя и влияющих факторов среды, соответственно, могут быть определены как промежуточные величины. Эти величины, в свою очередь, в общем случае, подвергаются последующей обработке по специальным алгоритмам с целью получения искомых результатов измерения, в том числе – за счет программных ресурсов. В случае измерения параметров относительно простых пассивных двух-, трехэлементных электрических цепей, (к которым в подавляющем большинстве случаев и приводятся эквивалентные схемы емкостных датчиков), удастся. Примером реализации структурной избыточности с пространственным разделением каналов может служить преобразователь [4], предназначенный для работы с емкостными датчиками (например, малых перемещений). Датчик представлен схемой замещения в виде параллельной RC – цепи. Схема преобразователя приведена на рис. 1. Схема включает в себя емкостной датчик с параметрами R и C , включённый на инвертирующий вход операционного-усилителя (U) с опорным конденсатором C_0 в цепи отрицательной обратной связи, а также два компаратора: $K1$ и $K2$.

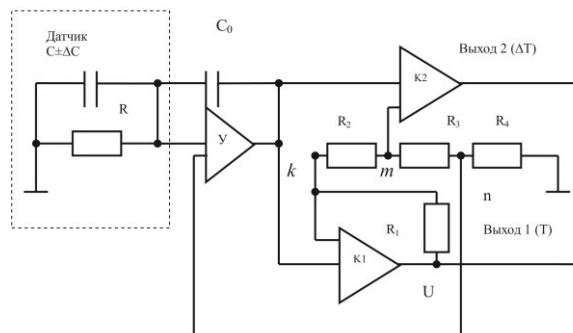


Рисунок 1 – Схема преобразователя с пространственным разделением каналов

Для упрощения схемы оказалось удобным выполнение компараторов как дифференциальных усилителей-ограничителей. Определяющей особенностью схемы преобразователя является формирование опорного напряжения U_0 измерительной схемы и двух уровней сравнения для $K1$ и $K2$ из одного источника – выходного напряжения $K1$ U с помощью резистивного делителя напряжения с коэффициентами деления k , km и kn . Анализируя работу схемы для момента срабатывания компаратора $K1$ можно записать

$$knU \left(1 + \frac{C_x}{C_0} + \frac{T}{2C_0R_x} \right) = kU. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что исключается влияние на значение T не-стабильности, во-первых, U и, во-вторых, коэффициента деления

$$k = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad \text{Стабильность} \quad \text{коэффициента} \quad \text{деления}$$

$$n = \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad \text{также достаточно высока в силу того, что представляет}$$

собой отношение сопротивлений резисторов, имеющих одинаковый ТКС.

Формирование двух уровней сравнения (т.е. двух каналов в структуре преобразователя) создает структурную избыточность.

Особенности работы преобразователя поясняются фрагментом его временных диаграмм (рис.2).

В течение каждого полупериода существующих в схеме автоколебаний (т.е. без потери быстродействия) в момент равенства напряжений на входах К2 компаратор срабатывает, формируя интервал ΔT . Длительность интервала времени ΔT между срабатываниями К1 и К2 (см. рис.2) определяется из очевидного соотношения:

$$kmU + knU \frac{\Delta T}{C_0 R_x} = kU. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим

$$\frac{T}{2\Delta T} = \frac{1}{1-m} \left[(1-n) - \frac{nC_x}{C_0} \right]. \quad (3)$$

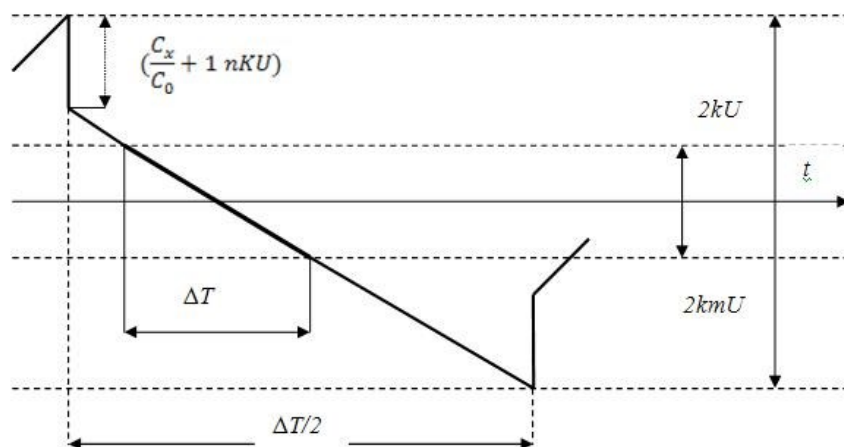


Рисунок 2 – Временные диаграммы работы преобразователя.

Если учесть, что $C_x = C \mp \Delta C$, где ΔC - изменение ёмкости датчика, относительно номинального («нулевого») значения, а также обеспечить равенство $C_0 = C$, то уравнение измерения можно записать в виде

$$\frac{T}{2\Delta T} = \alpha_1 \left(\alpha_2 \pm \alpha_3 \frac{\Delta C}{C} \right), \quad (4)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ постоянные коэффициенты, которые представляют собой (как следует из (3)) комбинации отношений сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 . В силу этого стабильность коэффициентов α может быть легко обеспечена.

Вместе с тем, для получения искомого результата необходимо осуществить операцию деления $T/2\Delta T$. Обойти эту трудность можно, организовав в схеме временную избыточность.

Рассмотрим схему преобразователя емкости датчика, представляющую собой модификацию преобразователей, описанных в [5] и [6] и реализующую идею введения временной избыточности (временного разделения каналов). Устройство (см. рис 3) содержит емкостной датчик, также представляемый параллельной RC-цепью, операционный усилитель ОУ с опорным конденсатором C_0 в цепи отрицательной обратной связи, компаратор К, выполненный как дифференциальный усилитель-ограничитель, охваченный положительной обратной связью через резистивный делитель R1-R2-R3. Один из резисторов делителя – R2 – выполнен управляемым. Управление осуществляется по сигналу от узла управления (УУ). В целом преобразователь также представляет собой релаксационный генератор. При выполнении определенных соотношений между параметрами схемы, которые будут приведены ниже, на выходе компаратора К существуют прямоугольные импульсы типа «меандр» некоторой частоты.

Переключение полярности выходного напряжения компаратора К и, соответственно, повторение процессов с учетом перемены знаков напряжений и токов, происходит в момент равенства сигналов на входах К. При этом период следования импульсов, снимаемых с выхода К, определяется из уравнения

$$n \left(1 + \frac{C}{C_0} + \frac{t}{C_0 R} \right) = m, \quad (5)$$

где коэффициенты n и m задаются соотношениями сопротивлений резисторов делителя, соответственно,

$$n = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad m = \frac{R_3 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (6)$$

Преобразовав выражение (5) с учётом соотношений (6), получим выражение для периода прямоугольных импульсов на выходе УС:

$$T = 4C_0 R \left[k - \left(1 + \frac{C}{C_0} \right) \right]. \quad (7)$$

Здесь

$$k = \frac{n}{m} = \frac{R_2 + R_3}{R_3}. \quad (8)$$

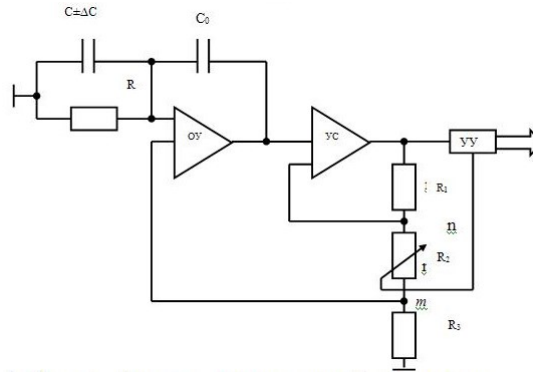


Рисунок 3 – Схема преобразователя с временным разделением каналов.

Из формул (7) и (8) следует, что условием существования автоколебаний в схеме преобразователя является обеспечение неравенства $k > 1 + \frac{C}{C_0}$. Это

условие сводится к выполнению соотношения $\frac{R_2}{R_3} > \frac{C}{C_0}$ и легко реализуется на практике. Важно, что даже при $C = 0$ автоколебания существуют, т.е. имеет место «нулевой» сигнал с периодом $T_0 = 4(k-1)C_0R$.

Примем, что некоторое значение C есть начальное значение ёмкости датчика, которое соответствует «нулевому» (или принятому за нулевое) начальному значению измеряемой с помощью датчика физической величины. Соответствующее значению C значение периода T автоколебаний фиксируется в узле управления УУ, построенном с использованием стандартных цифровых элементов (например, [1]). Пусть ёмкость датчика C вследствие изменения его входной величины получила некоторое приращение $\pm \Delta C$, так что установилось значение $C_x = C \pm \Delta C$. При прочих неизменных (в течение такта преобразования) параметрах датчика и преобразователя период колебаний электрических сигналов в схеме также изменится до некоторого значения T' , что будет зафиксировано узлом управления в виде неравенства кодов, соответствующих ненулевой разности $T - T'$. На выходе узла управления появится сигнал на изменение значения R_2 , а, соответственно, и периода колебаний в схеме. Изменение продолжится до тех пор, пока текущее значение периода не станет равным ранее запомненному значению T . Это условие осуществится при некотором

значении $R'_2 = R_2 \pm \Delta R_2$, т.е. $k' = \frac{R'_2}{R_3} + 1$. (см. выражение (8)). С учётом выражения (7) получим, что в момент равенства периодов

$$\frac{\pm \Delta C}{C_0} = \frac{\pm \Delta R_2}{R_3}, \quad (9)$$

$$\text{т.е. } \pm \Delta C = \pm R_2 \frac{C_0}{R_3}. \quad (10)$$

Таким образом, приращение ΔC ёмкости датчика преобразуется в цифровой код, соответствующий пропорциональному изменению сопротивления резистора ΔR_2 . В уравнение (10) преобразования входит минимум параметров схемы преобразователя и датчика, что существенно снижает требования к стабильности ряда их параметров. Важным достоинством измерительного преобразователя является то, что его работа происходит в сущности на одной частоте, которая может быть выбрана так, чтобы максимально снизить требования к используемым операционным усилителям. Помехоустойчивость схемы существенно улучшается заземлением датчика и резистора R_3 . Для температурной компенсации в качестве C_0 может быть использован ненагруженный ёмкостный датчик, аналогичный рабочему. Для управления процессом отслеживания и фиксации момента отсчета изменения ёмкости датчика в узле управления используется сравнение числоимпульсных кодов, что может быть выполнено достаточно точно простыми средствами. Это, в частности, выгодно отличает описанный преобразователь от других решений в рамках использования временного разделения каналов, одно из которых рассмотрено, например, в [7] и предусматривает необходимость запоминания и последующего сравнения аналоговых сигналов.

Использование для определения значения искомой ёмкости датчика нескольких (минимально – двух) уравнений промежуточного преобразования обуславливает выраженную специфику методики анализа возникающих при этом методических погрешностей преобразования [8].

В соответствии с методикой, приведенной в [9], произведен анализ методических погрешностей для преобразователей, описанных в данной статье. Результаты анализа удобно представить в виде построенных в некотором трехмерном фазовом пространстве фазовых поверхностей, соответствующих относительной погрешности δ преобразования отклонения ΔC ёмкости датчика от номинального (или начального) значения. Как следует из выражений (4) и (9) в качестве координат упомянутого фазового пространства для схемы рис. 1 целесообразно использовать $\left\{ \frac{T}{2\Delta T}, \frac{\Delta C}{C} \right\}$, для схемы рис. 3 – соответственно,

$\left\{ \frac{\Delta R_2}{R_3}, \frac{\Delta C}{C} \right\}$. Типичный вид зависимостей относительной погрешности преобразования для первой и второй схемы преобразователей приведен на рис. 4 и 5, соответственно.

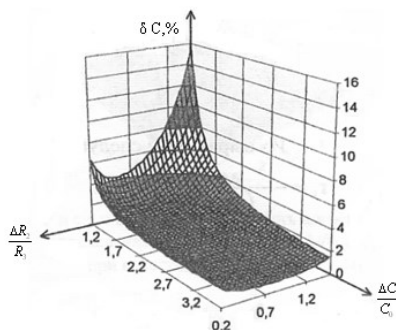


Рисунок 4 – График зависимости относительной методической погрешности для схемы рис. 1.

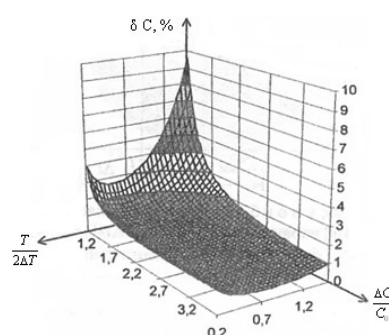


Рисунок 5 – График зависимости относительной методической погрешности для схемы рис. 3.

Из графиков зависимостей следует, что на достаточно обширном множестве практически реализуемых сочетаний параметров преобразователей относительная погрешность преобразования достаточно невелика 0,1%.

Для обеспечения контроля правильности функционирования и сохранения требуемых прежних метрологических характеристик описанных выше преобразователей также может быть использована избыточность.

Функцию метрологической диагностики можно, например, в схеме 1 выполнить путем априори задаваемого изменения коэффициентов α_1 , α_2 , α_3 (т.е. значения сопротивления из резисторов R_1 , R_2 , R_3 , R_4 (см. рис. 1.)

Результат при постоянстве в течение этого «поверочного» интервала времени приращения емкости датчика ΔC должен измениться в соответствии с выражением (4). Несоответствие сигнализирует об отклонении метрологических характеристик преобразователя от номинальных. В частности,

в схеме рис. 1. при $\Delta C=0$ должно выполняться соотношение $\frac{T}{2\Delta T} = \frac{1-n}{1-m} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$, что может быть легко проверено.

Аналогично в схеме рис. 3 можно при постоянном в некотором временном интервале значении C изменить на некоторую априори заданную величину значение R_2 и сравнить полученный результат с рассчитанным выражением по выражению (7).

В целях дальнейшего совершенствования комплекса метрологических характеристик преобразователей может быть использована «вторичная» избыточность [10,11].

Список литературы

1. Светлов, А.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров электрических цепей / А.В. Светлов, И.В. Ушенина // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. №1, 2008. – С.81-89.
2. Свистунов, Б.Л. Классификация способов обеспечения инвариантности при измерении параметров электрических цепей / Б.Л. Свистунов // Датчики и системы, №2 (45), 2003. – С.14-17.
3. Мартяшин, А.И. Основы инвариантного преобразователя параметров электрических цепей // А.И. Мартяшин и др. // - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216с.
4. Свистунов, Б.Л. Преобразователь емкости в унифицированный сигнал / Б.Л. Свистунов, И.Н. Фролов // Приборы и системы управления, №12, 1984. – С.85-89.
5. Артамонов, П.И. Устройства измерения разбаланса дифференциальных датчиков с промежуточным частотно-временным преобразованием / П.И. Артамонов, Д.С. Прохоров // Вестник Самарского государственного технического университета, №2 (38), 2013. С.41-47.
6. Свистунов, Б.Л. Преобразователи параметров емкостных и индуктивных датчиков в напряжение / Б.Л. Свистунов // Измерительная техника, №6, 2001. – С.50-52.
7. Ларкин, С.Е. Преобразователь информативного параметра датчика в частоту / С.Е. Ларкин, В.П.Арбузов, Е.П. Осадчий // Датчики систем измерения,

- контроля и управления: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 13. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1994. – С.26-28.
8. Свистунов, Б.Л. Анализ методических погрешностей измерения параметров электрических цепей в устройствах со структурно-информационной избыточностью / Б.Л. Свистунов // Измерительная техника. – 2002. – №3, С.42-45.
 9. Свистунов, Б.Л. Анализ методических погрешностей измерения параметров электрических цепей с промежуточным время-импульсным преобразованием / Б.Л. Свистунов // Датчики и системы. – 2003, №7, С.17-19.
 10. Свистунов, Б.Л. Организация избыточности в средствах измерений параметров электрических цепей как способ снижения методической погрешности / Б.Л. Свистунов // Метрология. – 2005. - №9. С.32-38.
 11. Артамонов, П.И. О возможности снижения методической погрешности измерения параметров физических объектов в средствах измерений с избыточностью / П.И. Артамонов // Сб. научн. трудов Всероссийской НТК «Информационные технологии в науке и производстве (МТНП-2013)». – Изд-во Самарского гостехуниверситета, г. Самара, 2013.
 12. Свистунов, Б.Л. Измерительный преобразователь параметров диэлектрических плёночных материалов со структурно – временной избыточностью / П.И. Артамонов, Е.С. Дементьева // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 2. С. 355-357.

УДК 621.317

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
ДАТЧИКОВ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ
В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СИГНАЛ²**

© П.И. Артамонов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© Б.Л. Свистунов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© Е.С. Дементьева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**MEASURING CONVERTERS FOR PARAMETRIC SENSORS
WITH TIME-AND-FREQUENCY BUFFERING**

© P. I. Artamonov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© B.L. Svistunov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© E. S. Dementeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Рассмотрен принцип построения и реализации преобразователей емкости и индуктивности датчиков в унифицированные сигналы, ориентированных на использование в промышленных информационно-управляющих системах. В схемах преобразователей организуется структурная и/или временная избыточность.

² Статья подготовлена при поддержке Гранта РФФИ №16-38-00893 на 2016 г.

Ключевые слова: датчик, измерительное устройство, емкость, индуктивность, избыточность, принцип двухканальности.

The principal of construction and implementation of sensors capacity and inductance converters into standardized signals being oriented to the usage in industrial information and control systems is considered in the article. There is structural and/or time redundancy in converters circuitry.

Key words: sensor, measuring device, capacity, inductance, redundancy, the principle of dual channels.

Одним из перспективных направлений развития измерительной техники и совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) является использование базовых положений теории управляемых динамических систем. Усложняющаяся задача повышения точности определения параметров многомерных исследуемых объектов (ИО) при наличии взаимных связей их параметров, необходимость обеспечения инвариантности результатов преобразования каждого из искомым (информативных в данном измерительном эксперименте) параметров относительно других параметров ИО актуализируют использование для синтеза измерительных преобразователей (ИП) результатов теории инвариантности. Одним из наиболее эффективных путей обеспечения инвариантности является осуществление классического принципа многоканальности акад. Б.Н. Петрова за счет организации в ИП избыточности – структурной и/или временной. Избыточность реализуется созданием в ИП дополнительных параллельных и/или последовательных каналов промежуточного преобразования, асимметричных относительно информативного параметра ИО и симметричных относительно неинформативных параметров ИО (и, соответственно, параметрического датчика).

Обширную группу измерительных преобразователей (ИП) для параметрических датчиков различных физических величин составляют преобразователи в чистоту (период), интервал времени, скважность импульсов. ИП этой группы целесообразно строить как автоколебательные структуры, в которых времязадающими параметрами являются параметры исследуемой пассивной электрической цепи (ЭЦ), представляющей эквивалентную схему датчика и пассивные опорные параметры [1].

В ИП частотно-временной группы естественным является временное разделение каналов, т.е. повторное многократное использование одной и той же структуры дополнительного (промежуточного) частотно-временного преобразователя. Асимметрия каналов, необходимая, в соответствии с положениями теории инвариантности, для однозначного решения аппаратно формируемой системы уравнений достигается внесением в операторы дополнительных каналов, осуществляющих промежуточное преобразование, заданных количественных и/или качественных изменений [2].

Осуществление количественных изменений параметров операторов более целесообразно, с технической точки зрения, так как существенно упрощает реализацию ИП, позволяет не изменять качественно режим работы ИП и избежать нежелательных переходных процессов при перестройке дополнительных каналов. Вместе с тем, с точки зрения положений теории инвариантности оптимальным является внесение асимметрии в сам исследуемый объект.

В качестве промежуточных величин (так называемых признаков ИО) целесообразно использовать период (частоту) существующих в схемах ИП ре-

лаксационных колебаний. Модель ИО-ЭЦ при этом реализуется как некоторый процесс, например развертывающая функция [3].

Необходимые для достижения инвариантности результата преобразования к неинформативным параметрам исследуемого объекта и датчика дополнительные уравнения промежуточного частотно-временного преобразования аппаратно реализуются в результате заданного (тестового) изменения времязадающих параметров, входящих в выражение для функций промежуточного преобразования. Следствием внесения таких изменений является соответствующее изменение периода (частоты) электрических колебаний на выходе ИП. При этом зависимость "параметр-период (частота)" может быть в общем случае неоднозначной и нелинейной, так как она не является итоговой функцией преобразования (уравнением измерения). Обобщенная схема ИП, с использованием структурной избыточности (в общем случае, N однотипных каналов) приведена на рисунке 1.

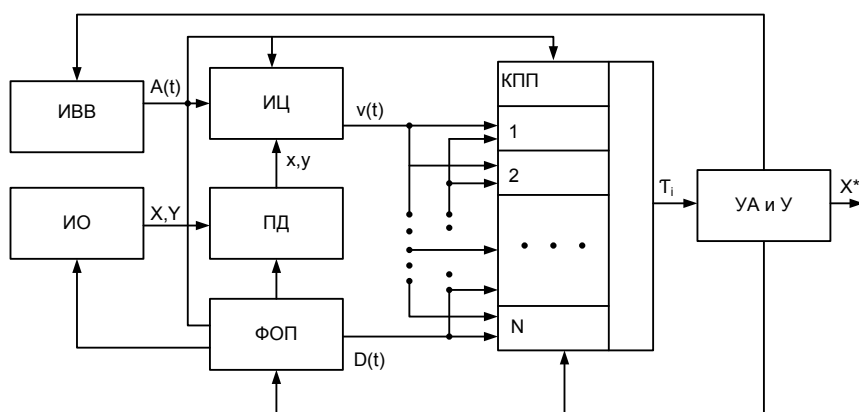


Рисунок 1 – Обобщенная схема ИП с использованием структурной избыточности.

Здесь:

ИО – исследуемый объект;

ПД – параметрический датчик;

ИВВ – источник возмущающего электрического воздействия $A(t)$;

ИЦ – измерительная цепь, формирующая информативный сигнал $v(t)$;

ФОР – формирователь опорных параметров;

КПП, $i = \overline{1, N}$ – каналы обработки, осуществляющие промежуточное частотно-временное преобразование;

УА и У – узел анализа и управления;

$x \in X$; $y \in Y$ – пассивные параметры эквивалентной схемы параметрического датчика, функционально связанные с физическими параметрами ИО. Для определенности будем считать параметр x информативным, а параметр y – неинформативным. Тогда X^* – искомый результат преобразования.

Каждый из каналов КПП представляет собой узел сравнения (УС). Схемы УС одинаковы, а уровни сравнения задаются индивидуально от ФОР и ИВВ в соответствии с содержанием алгоритма обработки информативного сигнала $v(t)$.

Выходные величины КПП – интервалы времени (длительности импульсов) τ_i , ограничиваемые моментами срабатывания УС в КПП, соответствующими достижению определенных соотношений между информативным $v(t)$ и опорным (развертывающим) $D(t)$ сигналом. Выходными величинами КПП могут являться и производные от указанных интервалов времени период T (частота f) релаксационных колебаний в схеме. Выходные величины КПП служат промежуточными величинами (признаками), по которым по априори задаваемым алгоритмам в УАиУ определяется искомый параметр X^* .

Рассмотрим для наглядности задачу измерения параметров двухэлементной ЭЦ. В [4] показано, что при использовании типовых схем ИЦ, построенных на базе операционных усилителей, в качестве опорного развертывающего, сигнала $D(t)$ в каждом из КПП с метрологической точки зрения и по соображениям простоты реализации целесообразно использовать масштабированное воздействие, то есть $D_i(t) = k_i A(t)$, $k_i = \text{const}$, $i = \overline{1, N}$. Тогда уравнение промежуточного частотно-временного преобразования в i -ом КПП может быть сведено к простому виду $v(t) = D_i(t)$, или $x + yt = k_i A(t)$. В принципе, получив достаточное, т.е. не меньшее, чем число параметров ЭС ПД, количество значений τ_i можно рассчитать искомые параметры ЭС ПД [5].

С целью упрощения алгоритмов расчета искомых параметров ЭС ПД нами предложено изменять времязадающие параметры ИП так, чтобы обеспечивать определенное наперед заданное соотношение между промежуточными параметрами, например, осуществлять изменение выходного параметра ИП (периода, частоты), пропорциональное его начальному (предыдущему) значению с заданным коэффициентом пропорциональности. Такой принцип положен в основу алгоритма ИП для одинарного индуктивного датчика (ИД) [6].

Ограничимся рассмотрением режима измерения параметров двухэлементной эквивалентной схемы обмотки индуктивного датчика ИД (рис. 2), являющейся достаточно адекватной моделью реального ИД.

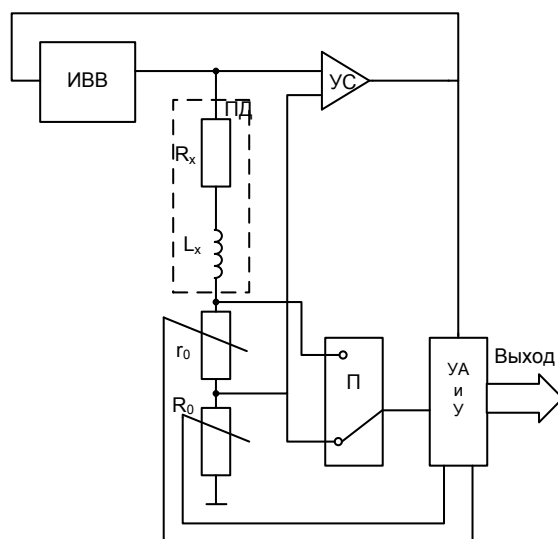


Рисунок 2 – схема ИП для одинарного индуктивного датчика.

Здесь: ИВВ – источник возбуждающего воздействия (треугольного тока); УС – узел сравнения, выполняющий роль КПП; УАиУ – устройство анализа и управления; r_0, R_0 – управляемые опорные резисторы, R_x, L_x – сопротивление и индуктивность ЭС индуктивного датчика.

Первый вариант алгоритма осуществляется путем изменения сопротивления опорного резистора R_0 . Значение сопротивления резистора r_0 в этом варианте равно нулю. При включении питания в схеме возникают релаксационные автоколебания, период T которых может быть определен из следующего соотношения $\left(L_x + R_x \frac{T}{2} \right) = R_0 \frac{T}{2}$, откуда, при $R_0 > R_x$, получим:

$$T = \frac{2L_x}{R_0 - R_x} \quad (1)$$

Выражение для T зависит от L_x и R_x и определяет промежуточную величину, а не искомый результат. Временная избыточность организуется повторным использованием схемы базового преобразователя. Асимметрия в разделенных по времени каналах (т.е. тактах) преобразования обеспечивается изменением значения опорного сопротивления R_0 . Пусть начальное значение промежуточной величины – период T – фиксируется при некотором начальном значении R'_0 сопротивления опорного резистора:

$$T' = \frac{2L_x}{R'_0 - R_x} \quad (2).$$

Это значение периода в виде соответствующего кода фиксируется в памяти УАиУ, после чего последнее дает сигнал на изменение сопротивления резистора R_0 до некоторого значения R''_0 , при котором период T колебаний в схеме становится равным

$$T = \frac{2L_x}{R''_0 - R_x} \quad (3),$$

и таким, чтобы $T'' = NT'$, где N – любое наперед заданное положительное число, $N \neq 1$.

Предположим, что для достижения указанного соотношения потребовалось изменить R_0 в n раз, т.е. $R''_0 = nR'_0$. Тогда

$$T'' = \frac{2L_x}{R''_0 - R_x}, \quad (4).$$

n – положительное число, разрядность которого определяется дискретностью (шагом изменения сопротивления резистора R_0). Оно связано с N уровнями (3) и (4).

Решая совместно уравнения для T' (2) и T'' (3) с учетом их связи $T'' = NT'$ получим $\frac{N}{R'_0 - R_x} = \frac{1}{R''_0 - R_x}$, откуда

$$R_x = \frac{R'_0(Nn-1)}{N-1}. \quad (5)$$

Подставив значение R_x в выражение, например, для T' получим:

$$L_x = \frac{T'(1-n)R'_0}{2(N-1)}. \quad (6)$$

Например, задав для упрощения вычислений $N = 2$, получим выражение для определения искомых параметров эквивалентной схемы индуктивного датчика:

$$R_x = R'_0(2n-1); \quad L_x = \frac{T'R'_0(1-n)}{2} \quad (7)$$

Аналогичные выражения для R_x и L_x получаются и при фиксации пропорционального изменения частоты колебаний, что позволяет при выборе вида промежуточной величины исходить, прежде всего, из удобства кодирования периода или частоты в данном диапазоне их изменения.

Заданное изменение периода T может быть получено также за счет введения в ИП регулируемого элемента, по характеру сопротивления аналогичного одному из элементов исследуемой ЭС ИД, т.е. имитирующего изменение соответствующего параметра последней (параметрическое доопределение) [7]. Практически всегда целесообразно вводить резистивный элемент (вариант схемы ИП на рис. 2, где $R_0 = const$, $r_0 = var$, т.е. переключатель П в верхнем положении).

Пусть в первом такте преобразования $R_0 = 0$. Тогда T' определяется как и в выражении (2). Затем регулировкой по сигналу с УАиУ значения r_0 добиваются выполнения соотношения $T'' = NT'$.

Предположим, что при этом значение сопротивления резистора r_0 , включенного последовательно с исследуемой R , L_x – цепью, стало равным r_0 .

Тогда

$$T'' = \frac{2L_x}{R_0 - (R_x + r_0)} = \frac{2NL_x}{R_0 - R_x}, \quad \frac{N}{R_0 - r} = \frac{1}{R_0 - R_x}, \quad \text{где } r^* = R_x + r_0. \quad (8)$$

Аналогично предыдущему, при $N = 2$ получим $R_x = R_0 - 2r_0$, а индуктивность датчика L_x определяется простым выражением $L_x = T'r_0$. Таким образом, введение дополнительной структурно-временной избыточности позволило значительно упростить функцию преобразования и обеспечить инвариантность результата преобразования к R_x , а следовательно, к температуре в зоне расположения датчика.

Примером реализации структурной избыточности может служить преобразователь, предназначенный для работы с емкостным датчиком (например, малых перемещений). Датчик представлен схемой замещения в виде параллельной RC -цепи. Схема преобразователя приведена на рисунке 3. Схема включает в себя ЕД с параметрами R и C , включенный на инвертирующий вход операционного усилителя (ОУ) с опорным конденсатором C_0 в цепи отрицательной обратной связи, а также два компаратора, $K1$ и $K2$. Определяющей особенно-

стью схемы преобразователя является ее двухканальность. Сигнал с выхода ИС на ОУ распределяется по двум пространственно разделенным каналам: формирования опорного напряжения ИС на ОУ и формирования двух уровней сравнения для компараторов $K1$ и $K2$. Формирование осуществляется из одного источника – выходного напряжения компаратора $K1$ U с помощью резистивного делителя напряжения ДН с коэффициентами деления k , km и kn . Анализируя работу схемы для момента срабатывания $K1$ можно записать

$$knU \left(1 + \frac{C_x}{C_0} + \frac{T}{2C_0R_x} \right) = kU. \quad (9)$$

В течение каждого полупериода существующих в схеме автоколебаний в момент равенства напряжений на входах $K2$ его выходной сигнал также меняет знак. Формируемый триггерным узлом ТгУ импульс, длительность которого равна интервалу времени T между срабатываниями $K2$ и $K1$ (см. рисунок 3) определяется из соотношения:

$$kmU + knU \frac{\Delta T}{C_0R_x} = kU. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (9) и (10), получим

$$\frac{T}{2\Delta T} = \frac{1}{1-m} \left[1 - n - \frac{nC_x}{C_0} \right]. \quad (11)$$

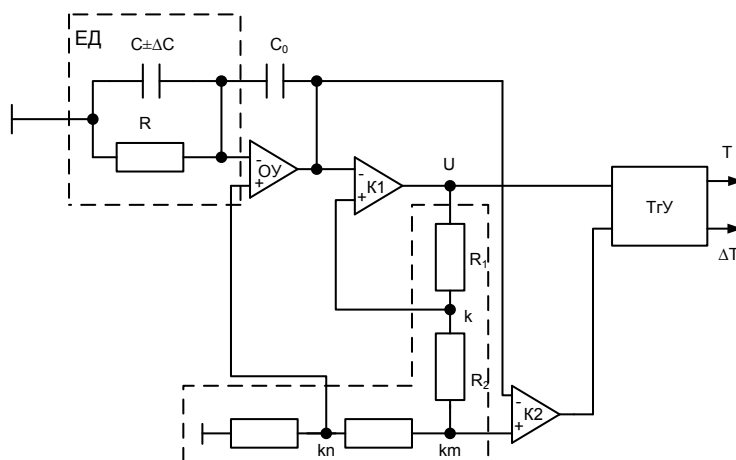


Рисунок 3 – ИП для одинарного емкостного датчика.

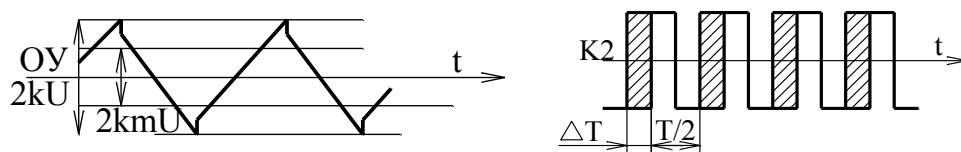


Рисунок 4 – Временные диаграммы работы ИП рисунок 3.

Если учесть, что $C_x = C \mp \Delta C$, где ΔC - изменение ёмкости датчика, относительно начального («нулевого») значения, а также обеспечив равенство $C_0 = C$, уравнение измерения можно записать в виде

$$\frac{T}{2\Delta T} = \alpha_1 \left(\alpha_2 \pm \alpha_3 \frac{\Delta C}{C} \right), \quad (12)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ постоянные коэффициенты, стабильность которых может быть легко обеспечена, так как они представляют собой отношение резисторов ДН.

Модификация рассмотренного преобразователя для одинарного емкостного датчика содержит ЕД, также представляемый ЭС в виде параллельной RC-цепи, включенной на вход операционного усилителя ОУ с опорным конденсатором C_0 в цепи отрицательной обратной связи. Единственный узел сравнения (УС) выполнен как дифференциальный усилитель-ограничитель, охваченный положительной обратной связью через резистивный делитель $R_1 - R_2 - R_3$. Один из резисторов делителя – R_2 – (рисунок 5) является управляемым. Управление осуществляется по сигналу от узла управления (УУ). ИП также представляет собой релаксационный генератор. При выполнении определенных соотношений между параметрами схемы, которые приведены ниже, на выходе УС существуют прямоугольные импульсы типа «меандр» некоторой частоты.

Переключение полярности выходного напряжения УС и, соответственно, повторение процессов с учетом перемены знаков напряжений и токов, происходит в момент равенства сигналов на входе УС. При этом период следования импульсов, снимаемых с выхода УС, определяется из соотношения (13).

$$m \left(1 + \frac{C}{C_0} + \frac{t}{C_0 R} \right) = n, \quad (13)$$

где коэффициенты n и m определяются соотношениями сопротивлений резисторов делителя, соответственно

$$m = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad n = \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (14)$$

Преобразовав выражение (13) с учетом соотношений (14) получим выражение для периода прямоугольных импульсов на выходе УС:

$$T = 4C_0 R \left[k - \left(1 + \frac{C}{C_0} \right) \right], \quad (15)$$

$$\text{где } k = \frac{n}{m} = \frac{R_2 + R_3}{R_3}. \quad (16)$$

Из формул (15) и (16) следует, что условием существования автоколебаний в схеме ИП является обеспечение неравенства $k > 1 + \frac{C}{C_0}$. Это условие

сводится к выполнению соотношения $\frac{R_2}{R_3} > \frac{C}{C_0}$ и легко реализуется на практи-

ке. Важно, что при $C = 0$ автоколебания в схеме существуют; «нулевой» сигнал имеет период $T_0 = 4(K-1)C_0R$.

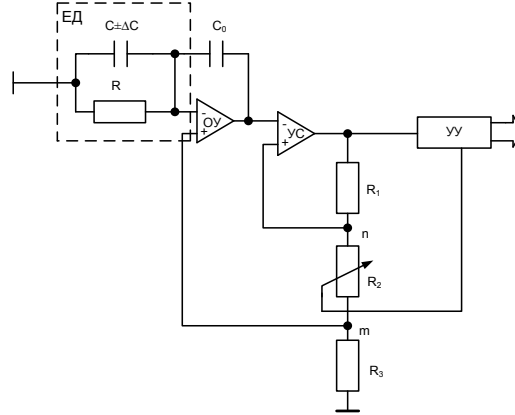


Рисунок 5 – ИП для ЕД с временным разделением каналов.

Из формул (15) и (16) следует, что условием существования автоколебаний в схеме ИП является обеспечение неравенства $k > 1 + \frac{C}{C_0}$. Это условие

сводится к выполнению соотношения $\frac{R_2}{R_3} > \frac{C}{C_0}$ и легко реализуется на практике.

Важно, что при $C = 0$ автоколебания в схеме существуют; «нулевой» сигнал имеет период $T_0 = 4(K-1)C_0R$.

Пусть значение C есть начальное значение ёмкости ЕД, которое соответствует начальному значению измеряемого с его помощью параметра ОИ. Соответствующее значению C значение периода T автоколебаний фиксируется в узле управления УУ. Пусть ёмкость датчика C вследствие изменения его входной величины получила некоторое приращение $\pm \Delta C$, так, что установилось значение $C \pm \Delta C$. При прочих неизменных (в течение такта преобразования) параметрах ЕД и ИП период колебаний электрических сигналов в схеме также изменится до некоторого значения T' , что будет зафиксировано УУ в виде неравенства кодов, соответствующих ненулевой разности $T - T'$. На выходе УУ появится сигнал на изменение значения R_2 , а, соответственно, и периода колебаний T . Изменение продолжится до тех пор, пока текущее значение периода не станет равным ранее запомненному значению T . Это условие осуществится при некотором значении $R'_2 = R_2 \pm \Delta R_2$, т.е. $k' = \frac{R'_2}{R_3} + 1$ (см. выра-

жение (16). В момент равенства периодов $T^* = T$

$$\frac{\pm \Delta C}{C_0} = \frac{\pm \Delta R_2}{R_3}, \quad (17)$$

$$\text{т.е. } \pm \Delta C = \pm \Delta R_2 \frac{C_0}{R_3}. \quad (18)$$

В уравнение (18) преобразования входит минимум параметров ИП и ЕД, что существенно снижает требования к их стабильности. Важным достоинством ИП с временной избыточностью является то, что его работа происходит, в сущности, на одной частоте, которая может быть выбрана так, чтобы максимально снизить требования к используемым ОУ. Помехоустойчивость схемы существенно улучшается заземлением ЕД и резистора R_3 .

Уравнения преобразования искомым параметрам ЭС датчиков и связанных с ними физических параметров ИО выгодно отличаются линейностью, минимумом параметров, входящих в расчетные формулы, возможностью обеспечения требуемой чувствительности, что подтверждается результатами экспериментов и опытом практического использования разработанных преобразователей.

Список литературы

1. Мартяшин, А.И. Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей / А.И. Мартяшин, К.Л. Куликовский, С.К. Куроедов, Л.В. Орлова // – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.
2. Свистунов, Б.Л. Пути реализации принципа двухканальной инвариантности в средствах измерений параметров электрических цепей / Б.Л. Свистунов // Изв. ВУЗов. Приборостроение. №3, 2003. – С. 31 – 37.
3. Темников Ф.Е. Методы и модели развешиваемых систем / Ф.Е. Темников // – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 440 с.
4. Свистунов, Б.Л. Двухканальные устройства измерения параметров электрических цепей с промежуточно частотно-временным преобразованием / Б.Л. Свистунов // Датчики и системы, №4(21), 2003. – С. 25 – 28.
5. Артамонов, П.И. Простое устройство для измерения емкости датчика / П.И. Артамонов // Информационные, измерительные и управляющие системы: сб.научн.тр. Самара, СамГТУ, 2012. – С. 114 – 118.
6. Свистунов, Б.Л. Некоторые пути совершенствования трансформаторных датчиков контроля движения железнодорожного транспорта / Б.Л. Свистунов, В.Г. Полосин // Датчики и системы, №10(18). 2000. – С. 56 – 59.
7. Свистунов, Б.Л. Измерители параметров катушек индуктивности. Монография / Б.Л. Свистунов, П.П. Чураков // Пенза, ПГУ, 1998. – С. 180.
8. Артамонов, П.И. Устройство для измерения емкости датчика / П.И. Артамонов // Актуальные проблемы науки и образования: сб.научн.тр. Пенза, 2012. – С. 115 – 118.

УДК 523.982.8+004.942

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ
АКТИВНОСТИ В ПРОГРАММЕ AIMDSS**

© *А.А. Гусев, Кубанский государственный университет (г. Краснодар, Россия)*

© *Н.А. Швецова, Кубанский государственный университет
(г. Краснодар, Россия)*

© *А.Э. Волошин, Конструкторское бюро «Селена» (г. Краснодар, Россия)*

© *Н.А. Яковенко, Кубанский государственный университет
(г. Краснодар, Россия)*

**FORECASTING OF 22 YEAR SOLAR ACTIVITY CYCLE USING
AIMDSS PROGRAM**

© *A.A. Gusev, Kuban State University (Krasnodar, Russia)*

© *N.A. Shvetsova, Kuban State University (Krasnodar, Russia)*

© *A.E. Voloshin, Design Bureau "Selena" (Krasnodar, Russia)*

© *N.A. Yakovenko, Kuban State University (Krasnodar, Russia)*

В статье предложено решение задачи прогнозирования характера 22-летних циклов солнечной активности с помощью разработанной авторами программы AimDSS. Приведены результаты проверки работы программы на контрольной выборке. Составлен прогноз развития нынешнего цикла Хейла до 2030 г. Полученный прогноз согласуется с теорией вековых циклов солнечной активности.

Ключевые слова: солнечная активность, цикл Хейла, вековые циклы солнечной активности, прогнозирование, системология.

The article proposes a solution for the problem of 22-year solar activity cycle forecasting with the AimDSS program, created by the authors. The results of control sample testing are provided. The forecast for the evolution of the current 22-year cycle is given. The forecast is consistent with the Gleisberg age-long solar cycle theory.

Key words: solar activity, Heil cycle, Gleisberg cycle, forecasting, general systems theory.

E-mail: gusevftf@ya.ru, n.a.shvetsova@mail.ru, mail@kbsenela.ru, yna@phys.kubsu.ru

Солнечная активность, как множество взаимосвязанных явлений в атмосфере Солнца, является нелинейной динамической системой, порождающей нестационарные и очень изменчивые данные, обладающие 11-летней, 22-летней, вековой и др. цикличностью.

Исторически первым проявлением солнечной активности, доступным для наблюдения человеком, были солнечные пятна, начало инструментальных наблюдений которых было положено Р. Вольфом. Им предложена формула расчета относительных чисел пятен (чисел Вольфа).

Широкий интерес к предсказанию параметров предстоящих циклов солнечной активности привел к попыткам применения разнообразных методов анализа данных и моделирования для решения этой задачи. Применяемые методы моделирования и прогнозирования можно условно разделить на две группы: дедуктивные и индуктивные.

Дедуктивные методы прогнозирования солнечной активности связаны с построением математических моделей, описывающих динамику магнитного поля Солнца, приводящую к изменению протекания конвекционных процессов и образованию охлажденных областей на поверхности звезды – солнечных пятен. Общим

для методов данной группы является наличие той или иной базовой физической теории возникновения солнечных пятен или иных аспектов солнечной активности, лежащей в основе дедуктивного вывода математических моделей.

Индуктивные методы прогнозирования солнечной активности, напротив, связаны с обработкой в первую очередь самого массива данных наблюдений - ряда значений чисел Вольфа, ряда снимков фотосферы Солнца, данных о хромосферных вспышках и др., при этом применяются как методы статистики: регрессионный анализ, интерполяция, так и подходы, связанные с методами искусственного интеллекта – генетические алгоритмы, нечеткие и нейронечеткие модели [1], искусственные нейронные сети [2][3], методы интеллектуального анализа изображений и комбинации этих подходов [4].

В литературе отмечается, что существование столь большого количества подходов к моделированию солнечных пятен и прогнозированию солнечной активности говорит о сложности явления и исключает возможность построения универсальной модели, которая могла бы вытеснить все остальные, речь должна идти об определении режимов применимости тех или иных моделей [5]. На наш взгляд, для использования моделей в системах поддержки принятия решений немаловажной является также воспроизводимость результатов исследования и удобство используемых инструментов прогнозирования.

Целью исследования является изучение возможности предсказания характера 22-летнего цикла солнечной активности с помощью программы AimDSS.

Актуальность исследования обусловлена потребностью в совершенствовании арсенала индуктивных методов прогнозирования солнечной активности для применения в информационных системах поддержки принятия решений.

Достижение цели исследования предполагает решение следующих задач:

1. выбор массива исходных данных солнечной активности, предварительная обработка данных и определение обучающей и контрольной выборки;
2. определение параметров AimDSS, обеспечивающих наивысшую точность прогнозирования;
3. прогнозирование солнечной активности с помощью AimDSS и анализ полученных результатов.

Программа AimDSS

Программа AimDSS разработана в студенческом конструкторском бюро (сКБ) «КВАНТ-ИК» Кубанского государственного университета Гусевым А.А. под руководством доцента Швецовой Н.А. [6].

AimDSS является авторской реализацией метода нечеткого индуктивного рассуждения (FIR), основанного на концепции Универсального решателя системных задач (УРСЗ) – предложенной Джорджем Клиром гипотетической компьютерной системы, предназначенной для решения междисциплинарных задач путем автоматизации анализа больших массивов данных о системах различного уровня сложности методами системологии [7]. Подробное описание FIR приведено в [8][9].

AimDSS - это система автономных программных модулей, написанных на языке Java и обменивающихся промежуточными данными через локальную базу данных на основе библиотеки SQLite. Предусмотрен также автоматизированный импорт входных данных о поведении моделируемой системы и экспорт конечных результатов моделирования в текстовые файлы .csv.

Программа AimDSS является кросс-платформенной и характер работы с ней не изменяется при работе на компьютере под управлением Windows версии Vista SP2 и выше; Windows Server 2008 SP1 и выше; MacOS X 10.8.3 и выше; GNU/Linux, включая Oracle Linux 5.5 и выше, RHEL 5.5 и выше, Suse Linux 10 SP2 и выше, Ubuntu 12.04 TLS и выше, Solaris и других операционных систем, при условии возможности установки виртуальной машины Java (JRE) версии 1.8 или выше.

Кросс-платформенность, автономность и отсутствие необходимости в предварительной покупке стороннего программного обеспечения является ключевым отличием AimDSS от других программных средств нечеткого индуктивного рассуждения.

Модель

Для создания модели цикла Хейла в программе AimDSS в качестве обучающей выборки нами использовались данные по среднегодовым числам Вольфа с 1700 по 1985 гг.. Выбор столь большого диапазона входных данных обусловлен необходимостью обучить алгоритм не только 22-летним, но и вековым закономерностям, присутствующим в данных солнечной активности.

В качестве проверочной выборки были взяты среднегодовые значения чисел Вольфа с 1986 по 2008 гг.

Обе выборки были получены нами из Королевской обсерватории Бельгии (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels) [10].

Значения обучающей выборки принадлежали диапазону [0; 269,3]. Столь большая амплитуда входных значений требовала использования сравнимого большого количества категорий нечеткого индуктивного рассуждения.

На этапе фаззификации данных мы задали 111 категорий нечеткого индуктивного рассуждения, затем автоматически образованных программой AimDSS центроидным методом кластеризации с применением гауссовской функции принадлежности.

На этапе идентификации модели программой AimDSS была найдена оптимальная маска 4x4.

На рис.1 представлены результаты моделирования в программе AimDSS цикла Хейла 1986-2008 гг. против проверочной выборки.

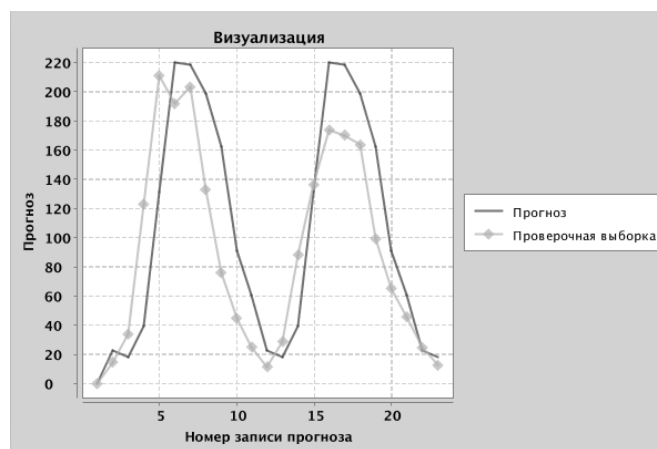


Рисунок 1 – Результаты моделирования цикла Хейла 1986-2008 гг.

Используя ту же маску мы получили прогноз (рис.2) следующего цикла Хейла 2008-2030 гг. на основе данных по среднегодовым числам Вольфа с 1700 по 2007 гг, полученных нами из [10].

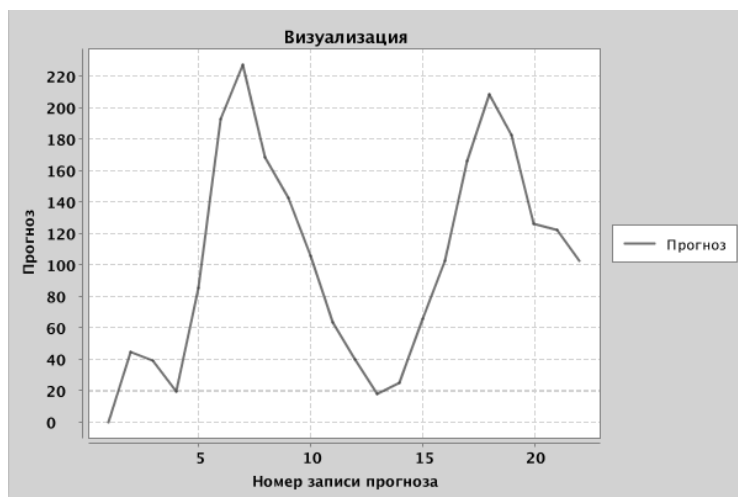


Рисунок 2 – Результаты прогнозирования динамики нынешнего цикла Хейла 2008-2030 гг.

Полученный график имеет локальный минимум в области 13 записи прогноза, соответствующей 2021 г. и локальный максимум в области 18 записи, соответствующей 2026г. Данный максимум будет отличаться меньшей интенсивностью, нежели предыдущий пик солнечной активности, пришедшийся на 2014 г.

Отметим, что убывание интенсивности максимумов солнечной активности в первой половине XXI согласуется с теорией вековых циклов солнечной активности Гляйсберга.

Заключение

В данной статье мы исследовали применимость разработанной нами программы AimDSS к предсказанию характера 22-летнего цикла солнечной активности (цикла Хейла) по данным среднегодовых чисел Вольфа.

Нами были получены следующие результаты:

- на контрольной выборке подтверждена применимость программы AimDSS к моделированию солнечной активности;
- составлен прогноз развития нынешнего цикла Хейла до 2030 г;
- обнаружено соответствие прогноза теории вековых циклов солнечной активности.

Дальнейшее исследование будет направлено на совершенствование предсказательной силы используемой методики, для чего будет изучаться эффект ввода в модель нечеткого индуктивного рассуждения дополнительных входных переменных: напряженности полярного магнитного поля Солнца, числа хромосферных вспышек, корональных дыр, потока высокоэнергичных электронов и др. параметров.

Список литературы

1. Attia A.F., Ismail Hamed A., Bassurrah H.M. *A Neuro-Fuzzy modeling for prediction of solar cycles 24 and 25* // *Astrophys Space Sci.* 2012. DOI: 10.1007/s10509-012-1300-6
2. Zavvari A., Islam M.T., Anwar R., Abidin Z.Z. *Solar Flare M-Class Prediction Using Artificial Intelligence Techniques* // *Journal Of Theoretical and Applied Information Technology.* 2015. Vol 74. No.1, pp.63-67
3. Ajabshirizadeh A., Juzdani N. M. *Sunspot Number and Solar Radio Flux Prediction by Artificial Neural Network Method.* // 38th COSPAR Scientific Assembly. Held 18-15 July 2010, in Bremen, Germany, p.2
4. Hussain A.N., Ajmal H.S., Raed A. *ANFIS Based Intelligent Solar Flare Prediction System [Электронный ресурс]* // *Proceedings of the International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications.* 2014. Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 49-55. ISBN: 978-1-941968-02-4 URL: https://www.academia.edu/9619451/ANFIS_Based_Intelligent_Solar_Flare_Prediction_System?auto=download (дата обращения 1.11.2016)
5. Thomas J.H., Weiss N.O. (Eds.). *Sunspots: Theory and Observations.* Springer Netherlands. 1992. 428 p. DOI: 10.1007/978-94-011-2769-1
6. Свид. 2016610899 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа принятия управленческих решений «AimDSS» / А.А. Гусев, Н.А. Швецова; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО КубГУ (RU). – №2015661290; заявл. 23.11.15; опубл. 21.01.16, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
7. Клир Дж. *Системология. Автоматизация решения системных задач.* - М.: Радио и связь, 1990. 544 с.
8. Cellier F.E. *Publications Related to Fuzzy Inductive Reasoning [Электронный ресурс]*. URL: https://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/Pubs/FIR/Pubs_fir_index_engl.html (дата обращения: 1.11.2016)
9. Cellier F., Nebot A., Mugica F., Alborno A. de. *Combined qualitative/quantitative simulation models of continuous time processes using fuzzy inductive reasoning techniques.* // *International Journal of General Systems.* 1996. №24(12). pp.95-116.
10. *Sunspot Index and Long-term Solar Observations.* WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles> (дата обращения: 25.10.16).

УДК 62-1/-9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ

© *Е.А. Дементьев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *Е.С. Дементьева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *В.Н. Прошкин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

USE OF MAGNETOSTRICTION CONVERTERS IN REFLEXOTHERAPY

© *E.A. Dementev, Penza State University (Penza, Russia)*

© *E.S. Dementeva, Penza State University (Penza, Russia)*

© *V.N. Proshkin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье человек рассматривается в виде замкнутой электрической системы. Магнито-стрикционный преобразователь, предлагаемый в статье, предназначен для комплексного воздействия на рефлекторные зоны человека.

Ключевые слова: магнитострикционный преобразователь, биологически активные точки, комплексное воздействие.

In article of people is considered in the form of the closed electric system. The magnetostriction converter offered in article is intended for complex impact on reflex zones of the person.

Key words: magnetostrictive converter, a biologically active dots, complex effect.

E-mail: BFH58@mail.ru, demeles2013@yandex.ru

Организм человека представляет собой электрическую систему, которая является замкнутой. Внутри этой системы вырабатываются разночастотные электрические токи. Эти токи выдают семь электростанций, которые являются биологическими. К ним относятся: сердце, мозг и пять органов чувств. После своей выработки, биотоки несут информацию к определенным клеткам человеческого тела, к органам и тканям по нервным волокнам. Коэффициент полезного действия биологического электричества составляет всего 5 %. Именно столько энергии наш организм поглощает от общей энергии. После того как информация передана соответствующим органам через их клетки, электричество по межклеточному пространству направляется напрямиком к кожным покровам, где происходит его аннигиляция посредством акупунктурных точек. Так как человеческий организм представляет собой замкнутую систему, то все электричество, выработанное внутри нашего организма, нашими же тканями и поглощается. Закон сохранения электрического заряда работает и в случае с человеческим телом. Ни один электрон, произведенный нашим организмом никогда нас не покинет и не перейдет в окружающую среду. Он, в крайнем случае, поглотится кожей.

Наше тело содержит небольшие участки кожи и подкожной основы, которые можно охарактеризовать комплексом тесно связанных между собой микроструктур. К ним относятся сосуды, нервы и клетки соединительной ткани. Благодаря этому в данном месте человеческого организма создается биологическая активная зона, которая оказывает влияние на нервные терминалы. В этой точке наблюдается связь между отдельным внутренним органом и соответствующим участком кожи. В области данной точки отмечается болезненность

при пальпации повышается температура, усиливается поглощение кислорода. Физические приборы регистрируют снижение электрического сопротивления кожи в данной точке. А.К. Подшибякин назвал эти точки активными. Физиологическая характеристика этих точек обуславливает воздействие на них различными способами для достижения положительного эффекта. В этом случае используются специальными иглами, прижиганием, лучом лазера, различными видами массажа, а также металлическими пластинками, использованием различных лекарственных средств и др.[1]

Применение магнитострикционных технологий для рефлексотерапевтического воздействия на биологически активные точки человека позволит повысить эффективность терапии при проведении косметических, лечебных или профилактических процедур.

Магнитострикционные преобразователи по сравнению с пьезоэлектрическими имеют некоторые преимущества. К ним относятся большие величины относительных деформаций, механическая прочность и срок службы. Вместе с тем, они менее чувствительны к температурным воздействиям. В зависимости от назначения магнитострикционные преобразователи различаются по устройству. Плоские преобразователи квадратной или прямоугольной формы применяются в технологических процессах очистки, а также при интенсификации различных производственных процессов. Преобразователи цилиндрической формы применяются для механической обработки хрупких и сверхтвердых материалов, сварки, пайки и лужения, а также в других производственных процессах.

Магнитострикционный преобразователь представляет собой комплекс, состоящий из первичного преобразователя, блока, позволяющего производить управление и контроль, соединяющего электрического кабеля. Составными частями первичного преобразователя являются:

- цилиндрический канал, оказывающий непосредственное воздействие на биологически активную точку. Он выполнен из магнитострикционного материала (ферромагнитного);
- электроакустический осциллятор;
- насадки, предназначенные для воздействия на канал в комплекте.

Блок управления и контроля состоит из:

- формирователь импульсов тока возбуждения, который является регулируемым;
- прецизионный помехоустойчивый импульсный усилитель токовых сигналов;
- узел контроля физических параметров воздействия на биологически активные точки;
- источник энергии.

Принцип работы преобразователя состоит в формировании в цилиндрическом канале воздействия на биологически активные точки магнитоупругих и магнитоакустических продольных и (или) крутильных волн. На конце канала в зависимости от режима возбуждения этих волн могут формироваться электромагнитные, тепловые, магнитные, вибрационные, электрические, ультразвуковые, механические (по двум: поступательной и вращательной степеням свободы) сигналы.

За основу предлагаемого преобразователя принята модель, представленная в источнике [2].

На рисунке 1 приведена структурная схема многофункционального устройства для воздействия на биологически активные точки человека. Устройство (рисунок 1) для рефлексотерапевтического воздействия на рефлекторную зону 1 человека содержит первичный преобразователь 2, вторичный преобразователь 3, кабель 4 с четырьмя электрическими линиями 5, 6, 7, 8 и одной оптической линией 9 связей первичного преобразователя 2 с вторичным преобразователем 3.

В состав первичного преобразователя 2 входят активный канал воздействия на рефлекторную зону 1 человека в виде прямолинейного акустического волновода 10, выполненный в виде цилиндрической трубки из магнитострикционного материала, токопроводящий магнитный демпфер 11, расположенный на демпфируемом конце 12 волновода 10, другой свободный конец 13 волновода 10 через волноводную насадку 14 воздействует на рефлекторную зону 1 человека, электроакустический преобразователь 15 и акустоэлектрический преобразователь 16 расположены соосно на волноводе 10, причем преобразователь 15 расположен между демпфером 11 и свободным концом 13 волновода 10, а преобразователь 16 между преобразователем 15 и свободным концом 13 волновода 10.

В состав вторичного преобразователя 3 входят устройство 17 управления и контроля, первый и второй генераторы 18 и 19 тока, генератор 20 светового потока, усилитель 21 сигналов считывания, причем первый выход устройства 17 управления и контроля соединен с входом первого генератора 18 тока, второй выход устройства 17 соединен с входом второго генератора 19 тока, третий выход устройства 17 соединен с входом генератора 20 светового потока, вход устройства 17 соединен с выходом усилителя 21 сигналов считывания. Выход первого генератора 18 тока через первую электрическую линию 5 связи кабеля 4 соединен с входом электроакустического преобразователя 15. Первый выход второго генератора 19 тока через вторую электрическую линию 6 связи кабеля 4 соединен с токопроводящим магнитным демпфером 11 со стороны демпфированного конца 12 волновода 10, а другой конец демпфера 11 через третью электрическую линию 7 связи кабеля 4 соединен со вторым выходом генератора 19, являющийся общей нулевой точкой электрических цепей генератора 19, третий выход устройства 17 управления и контроля соединен с входом генератора 20 светового потока, выход которого по оптической линии 9 связи кабеля 4 и через внутренние каналы акустического волновода 10 и волноводной насадки 14 воздействует на рефлекторную зону 1 человека, выход акустоэлектрического преобразователя 16 через четвертую электрическую линию 8 связи кабеля 4 подключен к входу усилителя 21 сигналов считывания.

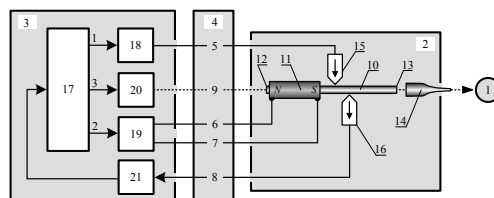


Рисунок 1 – Магнитострикционный преобразователь для рефлексотерапевтического воздействия на биологически активные точки человека

В состав первичного преобразователя входят цилиндрический акустический волновод (ВА), выполненный из ферромагнитного материала, электроакустический преобразователь (ПЭА), установленный соосно на волноводе, токопроводящий магнитный демпфер (ДТМ), расположенный на демпфируемом конце волновода (ДКВ).

Вторичный преобразователь содержит устройство управления (УУ), предназначенный для формирования трех каналов командных и управляющих сигналов для генератора крутильных воздействий (ГКВ), генератора токовых воздействий (ГТВ), генератора продольных воздействий (ГПВ)

С устройства управления сигналами можно включать или отключать один или несколько генераторов ГКВ, ГТВ, СГ, ГПВ.

Предлагаемый магнитострикционный преобразователь позволяет в комплексной взаимосвязи формируемых физических процессов с регулируемыми энергетическими и временными характеристиками или поканально воздействовать на биологически активные точки человека. Комплексное воздействие включает в себя механическое крутильное и продольное воздействия, вибрационное крутильное и продольное воздействия, а также одновременно с ними магнитное, тепловое и электрическое воздействия.

Пищеварительная, дыхательная, кровеносная и другие системы в организме человека тесно связаны между собой и оказывают влияние друг на друга. Во главе всего находится нервная система. Работе коры головного мозга, как главного отдела центральной нервной системы посвящены работы русских физиологов и клиницистов К.М. Быкова, И.М. Сеченова, В.М. Бехтерева, И.П. Павлова, и др. Внешняя среда оказывает воздействие на работу разных систем и органов. Если изменяются условия среды, то изменяется и работа всех систем и органов. Например: при сильной физической нагрузке у человека учащается сокращение сердца, углубляется дыхание, усиливается кровообращение. В мышцы поступает большое количество питательных веществ, повышается потребление кислорода. И, наоборот, во время сна уменьшается частота дыхания, урежается сердцебиение.

Лечебное действие чжэнь-цзютерапии осуществляется не только и не столько путём непосредственного воздействия на пораженный орган или ткань, а главным образом благодаря тому, что она стимулирует и регулирует деятельность нервной системы. Этим, по-видимому, и можно объяснить тот факт, что воздействие на нервную систему путем иглоукалывания в одни и те же точки в зависимости от исходного состояния может оказать влияние на диаметрально противоположные симптомы заболевания, как, например, на усиление или ослабление потоотделения. Так, в раннем периоде развития воспалительного процесса чжэнь-цзютерапия способствует увеличению числа лейкоцитов, а в позднем ведет к нормализации этого числа

Широко распространенная чжэнь-цзютерапия является методом дозированного раздражения. Её применение оказывает, прежде всего, стимулирующее влияние на координационную деятельность нервной системы. Рефлекс, возникающий при воздействии чжэнь-цзю, распространяется как по спинномозговым, так и по вегетативным путям.

На теле человека насчитывается около 365 основных активных точек. Все активные точки подробно описаны в трудах Гаваа Лувсана [1986], Д.М. Табеевой [1980], С.С. Schnorrenberger [1979] и некоторых других. Человеческий организм

представляет собой совокупность семь биологических электростанций. Управляют ими пять органов чувств, мозг и сердце. То электричество, которое вырабатано внутри человека, его же тканями и поглощается. Этот факт доказывает то, что электрическая система человека замкнута.

Применение магнитострикционных технологий для рефлексотерапевтического воздействия на биологически активные точки человека позволит повысить эффективность терапии при проведении косметических, лечебных или профилактических процедур, а также позволит организовать как одноканальное, так и многоканальное воздействия на биологически активные точки с дозированием интенсивности и времени воздействий. В ходе проведения исследовательских, лечебных или профилактических процедур преобразователь позволит определять величину контактного давления со стороны активатора на биологически активные точки и глубину его проникновения в организм человека.

Таким образом, магнитострикционный преобразователь для физической стимуляции биологических активных точек предназначен для комплексного воздействия на рефлекторные зоны человека и объединяет известные способы, рассмотренные в статье в единое целое.

Список литературы

1. Патент RU 2014068 МПК: А61 Н39/08, А61Н39/00. Устройство для рефлексотерапии / Мазур Л.И., Матвеев С.И. // Оpubл. 15.06.1994.
2. Прошкин В.Н. Проектирование магнитострикционного преобразователя для рефлексотерапевтического воздействия на биологически активные точки живых организмов/ Магомедова М.А., Гуцин Д.О., Федосеев М.В., Конопацкий Ю.В., Гришин Д.С., Баюков А.М.// Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 2. С. 297.
3. Прошкин В.Н. Магомедова М.А., Магомедова Э.А., Прошкин В.Н. Проектирование прецизионных помехоустойчивых импульсных усилителей токовых сигналов для магнитострикционных преобразователей // Молодой ученый. – Чита: Изд. «Молодой ученый». – № 10 (33), Т. I. – 2011. – С. 43-45.
4. Карпухин Э.В., Дементьева Е.С., Кулькова Ю.С. Способ повышения эффективности расчета параметров магнитострикционных преобразователей уровня с использованием программных комплексов// Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-5. – С. 902-906.
5. Дементьева, Е.С. Комплексное воздействие на рефлекторные зоны человека с помощью магнитострикционного преобразователя/ Дементьев Е.А., Прошкин В.Н.// В книге: Современные проблемы развития техники и технологий 2016. С. 12-15.
6. Дементьева, Е.С. Результаты вычислительного эксперимента по моделированию магнитных полей магнитострикционных уровнемеров / Карпухин Э.В., Батаев В.П.// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 147-153.
7. Дементьева, Е.С. Применение метода вращения для повышения эффективности расчета магнитных полей накладных магнитострикционных уровнемеров /Карпухин Э.В., Селиванов С.В.// Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2016. № 2 (18). С. 171-177.

8. Дементьева, Е.С. Исследование влияния параметров конструкции на работу МПУ/ Дементьев Е.А.// В сборнике: Инновационные технологии научного развития. сборник статей международной научно-практической конференции. Уфа, 2016. С. 48-51.
9. Дементьева, Е.С. Магнотриплексный преобразователь для комплексного воздействия на рефлекторные зоны человека/ Дементьев Е.А.// Инновационные технологии нового тысячелетия. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. 2016. С. 43-45.
10. Дементьева, Е.С. . Моделирование магнитных полей МПУ в системе ELCUT/ Дементьев Е.А., Кузьмин А.А.// В сборнике: Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2016. С. 34-38.
11. Дементьева, Е.С. Реализация численных методов моделирования МПУ В составе программных комплексов/ Дементьев Е.А.// В сборнике: Приоритеты и научное обеспечение технологического прогресса. Сборник статей международной научно-практической конференции. Уфа, 2016. С. 43-47.

УДК 004.415

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
ЧЕРЕЗ ТАРГЕТ-ОРИЕНТИРОВАННУЮ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ
РЕКЛАМНУЮ БИРЖУ³**

© **Л.А. Исмаилова**, Уфимский государственный авиационный
технический университет (г. Уфа, Россия)

© **И.А. Сатаева**, Уфимский государственный авиационный
технический университет (г. Уфа, Россия)

**SYSTEM OF MANAGEMENT OF CONSUMER BEHAVIOUR THROUGH
TARGET-ORIENTED AUTOMATED ADVERTISING EXCHANGE**

© **L.A. Ismagilova**, Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Russia)

© **I.A. Sataeva**, Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Russia)

Статья посвящена информационной системе управления поведением потребителей товаров и услуг путем настройки автоматизированной рекламной биржи (АРБ) на таргетинговую концепцию формирования маркетинговой политики фирмы. Описан процесс обоснования выбора альтернативных проектов информационной настройки автоматизированной рекламной биржи под цели управления и процесс разработки алгоритмической и программной составляющих информационного ядра АРБ. Рассматривается новый подход к обоснованию управления поведением потребителей с использованием АРБ как обобщение информационной среды таргетинга и информационных каналов СМИ. Отличие предлагаемого подхода состоит в формировании алгоритмов настраиваемого диалога на принципах согласования интересов фирмы и потребителей.

Ключевые слова: автоматизированная рекламная биржа, проектирование информационных систем, таргетинг, управление поведением, алгоритмы настройки диалога, альтернативный выбор, СУБД

The article is devoted to information system of management of behavior of consumers of goods and services by setting an automated advertising exchange (AAE) to targeting concept of forming of marketing policy of the company. Describes the process of rational for choosing alternative projects of

³ Работа выполнена при поддержке РГНФ и АНРБ (Проект № 15-12-02020).

the information settings of the automated advertising exchange for control goals and the development of algorithmic and software components of the information core of the automated advertising exchange. Discusses a new approach to the justification of control of the consumer behavior using AAE as an integration of the information environment of targeting and information channels of media. The distinction of the proposed approach consists in building algorithms of the custom dialogue on the principles of accommodation of interests of a firm and consumers.

Key words: automated advertising exchange, data systems engineering, targeting, behavior management, custom dialogue algorithms, alternative choice, DBMS

E-mail: ismagilova_ugatu@mail.ru, irishka.markevich@mail.ru

Управление поведением потребителей продуктов и услуг фирмы в условиях неопределенности и постоянно растущей конкуренции на рынках может быть реализовано в форме автоматизированной рекламной биржи, представляющей собой информационную систему повышения эффективности способов взаимодействия с целевой аудиторией[5]. Использование концепции таргетинга при проектировании АРБ и согласования возможностей разнородных информационных каналов, таких как Интернет и каналы СМИ, позволит повысить эффективность управления поведением потребителя и результативность маркетинговой политики фирмы.

Таргетинговая реклама – это вид рекламы, позволяющий показывать её определённой группе целевых покупателей, исходя из их возраста, географического положения, увлечений и других индикаторов. В основном, говоря о таргетинге, подразумевают рекламу в сети Интернет.

Разработка системы управления поведением потребителей, объединяющей понятие «таргетинговой рекламы» и «информационных каналов СМИ», построенной на информационной платформе адаптивных СУБД для поддержки маркетинговой политики позволит выполнить настройку АРБ с учетом условий внешней социально-экономической среды и целей рекламной политики фирмы.

Анализ существующих рекламных бирж для реализации маркетинговой стратегии фирмы показал их узкую специализацию и нацеленность, в основном, на рекламу интернет-сайтов и интернет-проектов[3]. Это не позволяет использовать существующие рекламные биржи для формирования таргет-ориентированной маркетинговой политики фирмы, что снижает эффективность управления поведением потребителей и повышает затраты на производство и реализацию продукции.

Рассматривается актуальная задача создания таргет-ориентированной автоматизированной рекламной биржи, позволяющей управлять процессом размещения рекламы на информационных каналах, которые ориентированы на целевую аудиторию продуктов и услуг фирмы.

Проектирование инструментальных средств создания таргет-ориентированной АРБ

Ядром системы управления поведением потребителей является информационная среда АРБ, проектирование новых свойств которой на таргет-ориентированной концепции возможно на основе выбора альтернативных проектов адаптивных предметно-ориентированных СУБД и языков высокого уровня.

Реализация задачи разработки АРБ возможна с использованием различных альтернативных вариантов компоновки СУБД и языков программирования. Поэтому решается задача, во-первых, формирования таких проектов, и, во-вторых, обоснование альтернативного выбора.

Для построения АРБ использована связка из серверных языков веб-программирования и клиент-серверных СУБД. Каждая связка выбирается ввиду того, что доступ к АРБ осуществляется через сеть Интернет посредством обычного интернет-браузера.

Анализ языков и баз данных свидетельствует, что в веб-программировании наиболее популярными языками являются следующие языки серверного уровня: *PHP*, *ASP* и *Perl*. Наиболее популярные клиент-серверные СУБД – *MySQL*, *MSSQLServer* и *Oracle*. Каждый язык программирования и СУБД имеет как преимущества, так и недостатки.

ASP может использовать достаточно хороший набор классов, используемых в работе с БД *SQL* [10]. Производительность *ASP* гораздо выше других языков веб-программирования. Однако по сравнению с другими языками веб-программирования *ASP* имеет менее удобный синтаксис.

Perl — процедурный по своей природе, предоставляет полную свободу стиля и многовариантность реализации [11]. Основной недостаток *Perl* в том, что код, написанный одним программистом, трудно читаем или совершенно непонятен другим. В результате затруднена корпоративная разработка проектов и техническая поддержка кода. Другим существенным недостатком является отсутствие синтаксиса для объектно-ориентированного программирования.

Благодаря своей популярности, гибкости и простоте язык *PHP* будет наиболее подходящим для написания на нем АРБ.

СУБД *Oracle* – программный комплекс, позволяющий создавать приложения любой степени сложности. Основой этого комплекса является БД, хранящая информацию, количество которой за счет предоставляемых средств масштабирования практически безгранично [4]. С высокой эффективностью работать с этой информацией одновременно может большое количество пользователей. Но минусом данной СУБД является сложность ее освоения, закрытость программного кода и большая стоимость.

СУБД *MS SQL Server* является интегрированным сквозным решением. *SQL Server* предоставляет мощные инструменты, уменьшая сложность создания и использования данных предприятия. Благодаря исчерпывающему набору функций *SQL Server* предоставляет полное решение в области хранения данных для предприятий всех масштабов [2]. Несмотря на все плюсы, *MSSQLServer* также, как и СУБД *Oracle* является дорогостоящим и не самым лучшим в плане использования в паре с *PHP* решением.

MySQL – это свободная распространяемая СУБД. Обычно *MySQL* используется в качестве сервера, к которому обращаются локальные или удаленные клиенты, однако *MySQL* также возможно включать в автономные программы. Гибкость СУБД *MySQL* обеспечивается поддержкой большого количества типов таблиц [1].

Преимуществами СУБД *MySQL* являются: наилучшая скорость обработки данных на объеме до 500000 записей; бесплатные открытые лицензии; простота использования; поддержка большинством хостинг-провайдеров; возможность использования на различных платформах (*Unix*, *Windows*, др.) и многое другое.

Таким образом, одним из хороших решений СУБД, которую можно использовать в связке с *PHP*, является *MySQL*: при разработке *PHP* и *MySQL* взаимно учитывались их особенности, поэтому они легко взаимодействуют друг

с другом [7; 9]. Также СУБД *MySQL*, в отличие от *MSSQLServer* и *Oracle*, является бесплатной, и ее исходный код полностью открыт, а это значит, что при желании любой разработчик может модифицировать данную СУБД.

В результате анализа возможных компоновок СУБД и языков программирования сформированы возможные альтернативные проекты:

Проект 1 – реализация на основе *ASP* и *MySQL*;

Проект 2 – реализация на основе *Perl* и *MySQL*;

Проект 3 – реализация на основе *PHP* и *MySQL*.

Проекты сформированы по критериям минимальных: стоимости, срока разработки, сложности реализации, аппаратных требований, срока окупаемости затрат, и максимальной производительности.

Обоснование выбора альтернативных проектов целесообразно провести с применением эффективного метода анализа иерархий [8], который используется при принятии решения в условиях неопределенности и множественности критериев.

Процедура выбора критериев и оценки значимости этих критериев для альтернативных проектов реализована с учетом методов экспертной оценки и схем метода анализа иерархий.

В таблице 1 приведены основные критерии выбора альтернативных проектов и выполнена оценка их значимости.

Таблица 1 – Значимость критериев оценки по проектам

Критерии	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Стоимость	7	6	4
Срок разработки	6	7	5
Производительность	7	5	6
Сложность реализации	7	8	4
Аппаратные требования	5	4	3
Окупаемость	8	7	5

При определении численных предпочтений одного сравниваемого объекта другому используется шкала предпочтений, приведенная в таблице 2.

Таблица 2 – Шкала предпочтений по методу анализа иерархий

Степень превосходства	Определение
0	Объекты несравнимы
1	Объекты одинаково важны
3	Умеренное превосходство одного над другим
5	Существенное превосходство одного над другим
7	Значительное превосходство одного над другим
9	Абсолютное превосходство одного над другим
2,4,6,8	Промежуточные значения степени превосходства

Расчеты, проводимые в методе анализа иерархий с учетом экспертных оценок значимости критериев, определения вектора значений критериев по известной формуле геометрической средней и формуле нормализации коэффициента значимости, сведены в таблицу. Построенные матрицы парных сравнений определяют значения критериев значимости по отношению к поставленной цели выбора альтернативных проектов (таблица 3).

Таблица 3 – Матрица парных сравнений критериев

	Стоимость	Срок разработки	Производительность	Сложность реализации	Аппаратные требования	Окупаемость	Собственный вектор	Вектор приоритетов	Максимальное собственное число
Стоимость	1	0,33	0,5	0,2	0,2	0,14	0,31	0,04	0,86
Срок разработки	3	1	0,25	0,16	0,33	0,14	0,42	0,05	1,07
Производительность	2	4	1	0,2	0,2	0,33	0,69	0,08	1,79
Сложность реализации	5	6	5	1	0,33	0,33	1,59	0,19	1,44
Аппаратные требования	5	3	5	3	1	0,33	2,05	0,24	0,56
Окупаемость	7	7	3	3	3	1	3,31	0,40	0,90
Итого	23	19,33	14,7	7,54	5,06	2,46			$\lambda_{\max}=6,60$

Вычисленное значение индекса согласованности (ИС) и отношения согласованности (ОС) свидетельствует о применимости метода и обоснованности выводов:

$$ИС = \frac{6,6 - 6}{6 - 1} = 0,12 \quad ОС = \frac{0,12}{1,24} = 0,1.$$

Матрица является согласованной, так как $ОС \leq 0,1$, следовательно, веса критериев соответствуют нормализованному вектору приоритетов. Это значит, что каждый критерий влияет на выбор той или иной альтернативы разработки.

Было проведено попарное сравнение альтернатив по каждому критерию в отдельности (пример приведен в таблице 4).

Таблица 4 – Критерий «минимальная стоимость»

	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Собственный вектор	Вектор приоритетов	Максимальное собственное число
Проект 1	1,00	0,33	0,2	0,40	0,10	0,94
Проект 2	3	1,00	0,33	1,00	0,26	1,12
Проект 3	5,00	3,00	1,00	2,47	0,64	0,98
Итого	9,00	4,33	1,53			$\lambda_{\max}=3,03$

Все матрицы оказались согласованными:

$$ИС = \frac{3,03 - 3}{3 - 1} = 0,015 \quad ОС = \frac{0,015}{0,58} = 0,03.$$

Определение глобального приоритета альтернатив с учетом локальных векторов приоритетов вычисляется как сумма произведений соответствующих значений нормализованного вектора приоритетов для критерия и значения нормализованного вектора приоритетов этой альтернативы. Результаты расчета представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Определение глобальных приоритетов альтернатив

	Крите- рий 1	Крите- рий 2	Крите- рий 3	Крите- рий 4	Крите- рий 5	Кри- терий 6	Глобаль- ный при- оритет
1	2	3	4	5	6	7	8
Нормализован- ный вектор	0,04	0,05	0,08	0,19	0,24	0,40	
Проект 1	0,10	0,27	0,10	0,16	0,10	0,08	0,11
Проект 2	0,26	0,12	0,67	0,11	0,23	0,19	0,22
Проект 3	0,64	0,62	0,23	0,73	0,67	0,73	0,67

Выполненные по методу анализа иерархий расчеты подтверждают, что наиболее предпочтительным для проектирования адаптивной АРБ является Проект 3 технологического объединения языка *PHP* и СУБД *MySQL*.

Разработка функциональной структуры системы управления поведением потребителей на основе таргет-ориентированной АРБ

Структура системы управления поведением потребителей позволяет реализовать рекламную кампанию фирмы и объединяет как плохо формализуемые действия управленцев, так и объективные результаты анализа поведения потребителей в системе рекламной биржи.

Использование АРБв системе управления заключается в регистрации рекламной кампании и описании рекламируемого продукта или услуги в рамках диалога с системой.

Функциональная структура системы управления поведением потребителей представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Функциональная структура системы управления поведением потребителей

Описание рекламируемого продукта в соответствии с разработанной математической моделью позволяет сформировать профиль рекламируемого продукта и поставить ему в соответствие профиль целевой аудитории и таргет-ориентированный информационный канал [6].

Организация диалога в системе управления поведением потребителей в настраиваемой АРБ осуществляется по сценарию диалога, представленному на рисунке 2.

Входными данными являются: описание продукта, канала, регистрация мероприятий рекламной кампании. Выходными – договор и отчет о проведении рекламной кампании.

Сценарий диалога с АРБ представлен на рисунке 2 и в таблице 6.

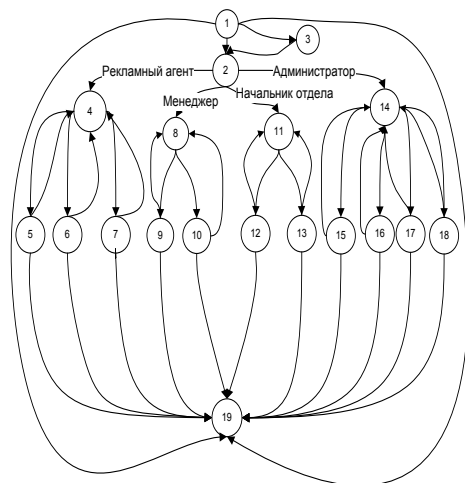


Рисунок 2 – Сценарий диалога АРБ

Таблица 6 – Шаги диалога

о реализации системы управления

№	Процесс
1.	Начало работы с АРБ
2.	Авторизация
3.	Регистрация
4.	Выбор действия
5.	Регистрация рекламного канала
6.	Редактирование данных о рекламном канале
7.	Отчетность по рекламному каналу
8.	Выбор действия
9.	Регистрация рекламной кампании
10.	Редактирование данных о рекламной кампании
11.	Выбор действия
12.	Мониторинг событий
13.	Просмотр отчетности
14.	Интерфейс администратора
15.	Редактирование БД
16.	Удаление из БД
17.	Просмотр БД
18.	Работа с пользователями
19.	Завершение работы с АРБ

Заключение

Предложенная система управления поведением потребителей основана на концепции таргет-ориентирования и реализуется через таргет-ориентированную настройку АРБ. Обоснованный выбор альтернативного проекта создания инструментальных средств разработки АРБ позволяет утверждать, что использование автоматизированной системы управления повышает эффективность маркетинговой политики фирмы за счет сокращения влияния чел фактора, увеличения объективности выбора информационного канала и в конечном итоге к увеличению числа клиентов.

Практическая реализация в системе образования показала, что предложенная система отвечает заявленным требованиям.

Список литературы

1. Атkinson, Л. MySQL. Библиотека профессионала / Л. Атkinson. – М.: Вильямс, 2002. – 624 с.
2. Виейра, Р. Программирование баз данных MSSQLServer 2005 / Р. Виейра. – М.: Диалектика, 2007. – 832 с.
3. Исмаилова Л.А., Маркевич И.А. Концепция информационной среды управления поведением предприятия на автоматизированной рекламной бирже // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12–1. – С. 48-53.
4. Кайт, Т. Oracle для профессионалов / Т. Кайт. – М.: DiaSoft, 2003. – 672 с.
5. Маркевич И.А. Информационная поддержка принятия решений при построении маркетинговой политики предприятия // *Экономика*

- математические методы исследования современных проблем экономики и общества: сборник материалов Международной научно-практической конференции. В 2-ух ч. Ч. II. – Уфа, 16-17 декабря 2013 г. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013 г. С. 105-110.*
6. Маркевич И.А. Модели и информационные технологии формирования маркетинговой политики предприятия // Вторая международная конференция "информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений" и международный семинар "роботы и робототехнические системы"(ITIDS+RRS'2014)– Уфа, 18-21 мая 2014 г. – Уфа: УГАТУ, 2014. С.135-139.
 7. Розанова Л.Ф., Фахретдинов Т.М. Методы оценки конкурентоспособности программного продукта // V международная научно-практическая конференция "Актуальные вопросы экономической теории: развитие и применение в практике российских преобразований". – Уфа, 27-28 мая 2016 г. – Уфа: УГАТУ, 2016. С.213-217.
 8. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т. Саати – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
 9. Томсон, Л., Разработка web-приложений на PHP и MySQL / Л. Томсон, Л. Веллинг. – СПб.: ДиасофтЮП, 2003. – 672 с.
 10. Уильямс, Э., ActiveServerPagesвподлиннике. Наиболее полное руководство / Э. Уильямс, К. Барбер, П. Ньюкирк. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 672 с.
 11. Шварц, Р., Изучаем Perl / Р. Шварц, Т. Кристиансен. – К.: БХВ-Киев, 2000. – 321 с.

УДК 51.74
ББК 30

**ВИБРАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЕ УСТАНОВКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ УИТК**

- © *А.А. Папко*, Научно-исследовательский институт физических измерений
(г. Пенза, Россия)
- © *А.В. Поспелов*, Научно-исследовательский институт физических измерений
(г. Пенза, Россия)
- © *С.И. Торгашин*, Научно-исследовательский институт физических измерений
(г. Пенза, Россия)

**VIBRATIONAL STABILITY IN INTELLECTUAL SYSTEM
OF LEVELLING UITK**

- © *A.A. Papko*, Research Institute of Physical Measurements (Penza, Russia)
- © *A.V. Pospelov*, Research Institute of Physical Measurements (Penza, Russia)
- © *S.I. Torgashin*, Research Institute of Physical Measurements (Penza, Russia)

Представлены результаты разработки интеллектуальной системы горизонтирования УИТК, предназначенной для горизонтирования объектов, эксплуатируемых на подвижных шасси. Рассмотрены условия возникновения эффекта наложения спектров при эксплуатации УИТК и методы его исключения.

Ключевые слова: углы тангажа и крена, акселерометр уравнивающего преобразования, микроконтроллер, опорно-поворотное устройство, спектр, наложение спектров, низкочастотный образ реального сигнала

Effects of working out of intellectual system of levelling UITK intended for a levelling of objects, operated on the mobile landing gear Are presented. Requirements of origination of effect of superimposition of spectrums are viewed at maintenance UITK and methods of its exclusion.

Key words: Pitch angles and a tilt, an accelerometer of the balance transformation, the microcontroller, the oporno-rotary device, a spectrum, superimposition of spectrums, a low-frequency fashion of a real signal.

E-mail: inercial@niifi.ru

Горизонтирование при установке объектов различного назначения на подвижные шасси осуществляется с помощью систем с аналогичным названием.

Неотъемлемой частью систем горизонтирования являются инерциальные системы, предназначенные для измерения углов крена, тангажа и формирования управляющих воздействий для опорно-поворотных устройств установки объектов в заданное положение. При этом эффективность работы систем напрямую связана с точностью измерения углов тангажа и крена.

В качестве измерителей углов в наземных системах горизонтирования, как правило, используются акселерометры уравнивающего преобразования [1]. В отличие от традиционных датчиков угла, использование акселерометров не требует механической связи между чувствительным элементом и подвижным основанием. Акселерометры измеряют углы наклона конструкций относительно вектора гравитационного ускорения g на основе энергетического взаимодействия с ним. При измерении углов тангажа θ и крена γ два акселерометра устанавливаются на платформу измерительными осями перпендикулярно. При этом они измеряют проекции вектора гравитационного ускорения, равные $g_\theta = g \cdot \sin \theta$ и $g_\gamma = g \cdot \sin \gamma$. Для каждого из них выходной сигнал без учета смещения нуля $U_{\text{вых}(\theta)}$ будет равен

$$U_{\text{вых}(\theta)} = K_{g\theta} \cdot \arcsin \frac{g_\theta}{g}, U_{\text{вых}(\gamma)} = K_{g\gamma} \cdot \arcsin \frac{g_\gamma}{g},$$

где $K_{g\theta}$, $K_{g\gamma}$ – коэффициенты преобразования акселерометров каналов θ и γ по гравитационному ускорению.

Особенностями создания акселерометров для систем горизонтирования является выполнение двух противоречивых требований:

- высокой точности, реализуемой за счет увеличения глубины уравнивания и, как следствие, увеличения собственной частоты;
- устойчивости или сохранения метрологических характеристик при воздействии виброускорений в широком частотном диапазоне, возникающих при работе двигателя шасси, опорно-двигательных и технологических устройств объекта, например вентиляторов. При этом следует иметь в виду, что для систем горизонтирования с использованием акселерометров вибрационные помехи являются влияющей величиной, однородной с измеряемым параметром.

Выполнение указанных требований достигается путем формирования частотного диапазона измерений (ЧДИ), верхняя граница которого определяется контролируемой динамикой объекта и скоростью затухания амплитудно-частотной характеристики в первой октаве за верхней границей ЧДИ до 30 дБ/окт. При этом необходимость выполнения требований осложняется также

тем, что параметры влияющих вибраций, как любой реальный сигнал, имеют неограниченный спектр, а требования к их частотному диапазону, как правило, задаются весьма приближенно.

В настоящее время для формирования ЧДИ акселерометров эффективно использование ФНЧ высокого порядка на переключаемых конденсаторах (на ПК-фильтрах). Для микросхем ПК-фильтров частота среза (верхняя граница ЧДИ) и частота генерации встроенного генератора, под которой следует понимать частоту дискретизации, связаны соотношением 50:1.

Структурная схема системы с учетом включения ПК-фильтров на входах АЦП микроконтроллера показана на рисунке 1.

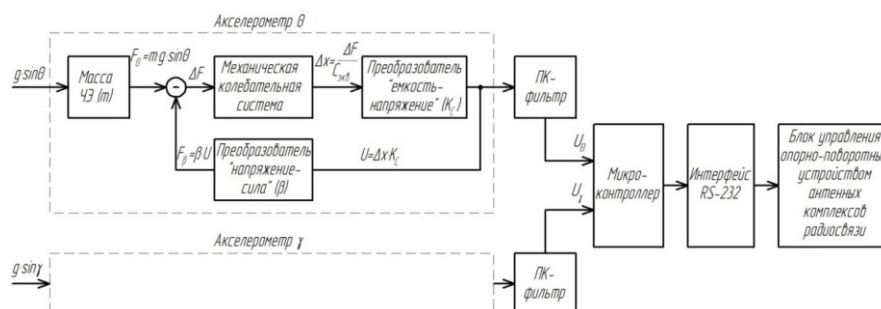


Рисунок 1 – Структурная схема системы горизонтирования

g – модуль вектора гравитационного ускорения;
 θ, γ – углы тангажа и крена соответственно;
 m – масса инерционного элемента;
 Δx – смещение инерционного элемента под действием измеряемой и уравновешивающей сил $F_\theta (F_\gamma), F_\beta$;
 $C_{э\text{кв}}$ – жесткость подвеса, формируемая электромеханической обратной связью.

Согласно структурной схеме проекции гравитационного ускорения на измерительные оси акселерометров каналов θ и γ преобразовываются в них в выходные напряжения, которые подаются на ПК-фильтры и входы АЦП микроконтроллера.

В настоящее время в АО «НИИФИ» разработана система горизонтирования типа УИТК. Ее отличительной особенностью является использование акселерометров собственной разработки с применением отечественной комплектации, включая ПК-фильтр, микроконтроллер и приемо-передатчик, а также высокая стабильность метрологических характеристик, нормируемая в виде среднеквадратического значения абсолютной погрешности, которое в условиях эксплуатации не превышает ± 20 угловых секунд (см. таблицу). Для примера, эталонные средства горизонтирования типа поплавковых и электронных уровней имеют сопоставимую погрешность, но при неизменной температуре окружающей среды и отсутствии влияющих ускорений.

Несмотря на положительные результаты разработки и высокий уровень экспериментальной отработки УИТК, при ее пробной эксплуатации на подвижном шасси автомобиля «Тигр-М», системой записан спектр низкочастотного сигнала частотой до 2 Гц, который невозможно интерпретировать в качестве

записей вибрации, воспроизведенной работой двигателя автомобиля. В режиме холостого хода автомобиля возможно наложение вибропроцессов от работы различных узлов двигателя, но их нижняя частотная граница, как правило, не бывает менее 300 Гц. Анализ вибрационных составляющих, возникающих при работе двигателя внутреннего сгорания [2, 3], показал, что причиной появления низкочастотной составляющей в спектре УИТК не может являться биение сигналов с незначительно отличающимися частотами, в связи с тем, что биение как линейный процесс не может быть источником новых частотных компонент.

Таблица 1

Диапазоны измерений, град.	от ± 3 до ± 90
ЧДИ, Гц	0 – 4
Среднеквадратическое значение абсолютной погрешности в условиях эксплуатации, угл. сек.	± 20
Время непрерывной работы, час, не более	15
Представление выходной информации	кодировка ASCII
Интерфейс	RS-232
Напряжение питания, В	23 – 34
Ток потребления, мА, не более	100
Температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	минус 50 - +70
Виброускорение в направлениях измерительных осей, $\text{м/с}^2/\text{Гц}$	0,5/5-500
Виброускорение в поперечном направлении, $\text{м/с}^2/\text{Гц}$	5/5-500
Масса с корпусом из стали, кг	1,7
Габаритные размеры, мм х мм х мм	100х150х54

Дальнейшие исследования показали, что появление в спектре выходного сигнала УИТК низкочастотной составляющей объясняется эффектом наложения спектров вибрационного сигнала и частоты дискретизации примененного ПК-фильтра. Указанный эффект характеризуется следующими признаками [4 - 6]:

- нарушением условия нахождения анализируемого сигнала (в рассматриваемом случае вибрационного) в зоне Найквиста или нарушением критерия дискретизации Котельникова, согласно которому частота дискретизации должна быть как минимум вдвое больше частоты исследуемого или влияющего сигнала;
- формированием в ПК-фильтре паразитного сигнала или низкочастотного образа реального сигнала, отображаемого в частотном диапазоне измерений системы и воспринимаемого АЦП и микроконтроллером в качестве измеряемого угла наклона (см. рисунок 2).

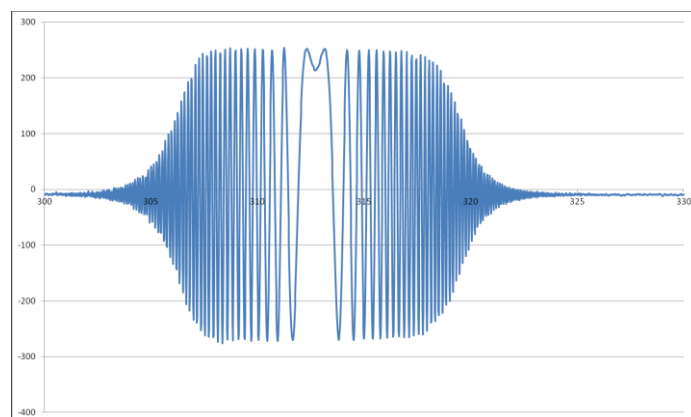


Рисунок 2 – Запись выходного сигнала УИТК при наложении спектров с частотой воздействия вибрации, близкой к частоте дискретизации

В этой связи фактические измерения низкочастотной составляющей при установке УИТК на автомобиль «Тигр-М» объясняются отображением частот выше частоты дискретизации ПК-фильтра в полосу частот полезного сигнала, находящуюся в диапазоне частот от 0 до верхней границы ЧДИ.

Из анализа признаков наложения спектров, а также учитывая, что эффект наложения в цифровом сигнале полностью производится на первом этапе цифро-аналогового преобразования, а в данном случае – в ПК-фильтре, и то, что для любого реального сигнала спектр является бесконечным, следует, что для его исключения при работе УИТК необходимо принятие специальных мер.

К их числу относятся:

- увеличение частоты дискретизации ПК-фильтра, что связано с нежелательным расширением верхней границы ЧДИ;
- использование более предпочтительного решения в виде ограничения спектра измеряемого сигнала путем дополнительной аналоговой фильтрации выходного сигнала акселерометров.

Реализация этого решения и его экспериментальное подтверждение позволили решить достаточно сложную проблему наложения спектра включением пассивного интегрирующего звена первого порядка на вход ПК-фильтра с частотой среза, превышающей верхнюю границу ЧДИ в (5-10) раз.

Таким образом, для правильной интерпретации результатов измерений систем горизонтирования на основе акселерометров в процессе эксплуатации необходимо не только фильтровать анализируемый сигнал до начала дискретизации, но и обращать особое внимание на достоверность представления частотного диапазона вибрационных помех, возникающих при работе шасси, опорно-поворотных и технологических устройств объектов горизонтирования.

Кроме этого представляется целесообразным нормирование частоты наложения спектров в КД системы на основе экспериментального исследования при воздействии влияющих вибраций в интервале частот, верхняя граница которого превышает на порядок максимальную частоту вибраций, установленную в техническом задании.

Список литературы

1. Мокров Е.А., Папко А.А. Статико-динамические акселерометры для ракетно-космической техники. Пенза: ПАИИ, 2004. 164 с.
2. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов. – 2-е. – М: Бином-Пресс, 2006.
3. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов. – 2-е. – СПб: Политехника, 2000. – 592 с.
4. ГОСТ 32108-2013 «Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Двигатели внутреннего сгорания поршневые высокоскоростные и среднескоростные».
5. ГОСТ Р ИСО 13373-2-209 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации».
6. Автомобили семейства «Тигр». Виброакустический метод диагностики подшипников коленвала двигателей внутреннего сгорания. Вибрация двигателя на холостых.

УДК 621.313

**ПОДСИСТЕМА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ И АНАЛИЗА
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН
НА ОСНОВЕ БИБЛИОТЕКИ EMLIB**

© *М.В. Тамьярова, Самарский государственный технический университет
(филиал в г. Сызрань, Россия)*

© *А.А. Легков, Ивановский государственный энергетический университет
(г. Иваново, Россия)*

© *А.И. Тихонов, Ивановский государственный энергетический университет
(г. Иваново, Россия)*

**SUBSYSTEM PARAMETRIC CREATION AND ANALYSIS OF FINITE
ELEMENT MODELS OF ELECTRICAL MACHINES
ON THE BASIS LIBRARY EMLIB**

© *M.V. Tam'jarova, Samara State Technical University (Syzran, Russia)*

© *A.A. Legkov, Ivanovo State Power Engineering University (Ivanovo, Russia)*

© *A.I. Tihonov, Ivanovo State Power Engineering University (Ivanovo, Russia)*

Статья посвящена разработке универсального параметрического генератора конечно-элементной модели электрических машин произвольной конструкции, который может быть использован для создания подсистем инженерного анализа систем проектирования на основе автономной библиотеки EMLib. Рассмотрены возможности библиотеки EMLib в плане организации программируемого численного эксперимента с использованием оперативно перестраиваемых конечно-элементных моделей.

Ключевые слова: численные модели, параметрическая генерация моделей, метод конечных элементов, САПР электрических машин.

The article is devoted to the development of a universal parametric creator of finite element models of electric machines of any design that can be used to create subsystems CAE design systems based on EMLib standalone library. Considered EMLib library capabilities in terms of organization of programmable numerical experiment using a tunable quickly finite element models.

Key words: numerical model, parametric generation models, finite element method, CAD of electrical machines.

E-mail: stprepod@mail.ru, lekha-legkv@yandex.ru, ait@dsn.ru

Одной из особенностей современного производства электрических машин и аппаратов является рост спроса на мелкие партии и даже на штучные экземпляры устройств различных исполнений, в том числе и нетрадиционных. При этом зачастую возникает необходимость поиска новых вариантов конструкций, для которых не существует апробированных методик проектирования. Как правило, это происходит в условиях отсутствия времени на разработку или корректировку методик проектирования и алгоритмов расчета данных устройств, а также на создание опытных образцов. Все это приводит к возрастанию требований, предъявляемых к системам автоматизированного проектирования, функционирующим на данном производстве, в частности, к адекватности и точности математических моделей физических процессов, протекающих в проектируемых устройствах. Поэтому необходимым элементом современных САПР электромеханических устройств являются системы инженерного анализа (CAE-системы – Computer-Aided Engineering), ядром которых являются подсистемы моделирования физических

полей. К числу наиболее популярных в России САЕ-систем, ориентированных на решение задач электромеханики, можно отнести, в частности, пакеты ANSYS Maxwell, Comsol Multiphysics и ElCut.

Одним из главных недостатков современных САЕ-систем является их относительная закрытость, что затрудняет использование результатов расчета физических полей в алгоритмах инженерного анализа, реализованных в рамках конкретной САПР. Особую актуальность данная проблема приобретает при решении задач поиска оптимального варианта конструкции электрической машины. Здесь на каждом шаге поиска необходимо обращаться к подсистеме, осуществляющей оперативную регенерацию конечно-элементной модели, обрабатываемой данной САЕ-системой. При этом варианты исполнения проектируемого устройства могут быть непредсказуемыми. Аналогичные проблемы возникают при необходимости достаточно быстрого создания конечно-элементной модели по заданному списку параметров или при необходимости исследования полевой модели по заданному алгоритму.

Поэтому актуальной является задача разработки принципиально нового подхода к проблеме инженерного анализа, расширяющего границы, очерченные современными САЕ-технологиями и дающие инженеру более гибкие возможности в плане формирования и исследования полевых моделей.



Рисунок 1 – Структура библиотеки моделирования магнитного поля EMLib

Одним из примеров такого подхода может служить технология инженерного анализа, построенная на основе динамически подключаемой библиотеки EMLib (рис. 1) [1], позволяющей моделировать двухмерные квазистационарные магнитные поля в электромеханических устройствах методом конечных элементов с учетом нелинейности параметров сред. В отличие от «тяжеловесных» САЕ-систем EMLib является относительно дешевой и мобильной библиотекой, которая может быть интегрирована в любое открытое пользовательское

приложение или математический пакет, в частности, в САПР. При этом она предоставляет в данное приложение набор функций, которые могут быть использованы при создании собственных макросов или подпрограмм. Это открывает перед пользователем неограниченные возможности в плане формирования моделей и программирования численного эксперимента.

В основе структуры библиотеки конечно-элементного моделирования магнитного поля лежит объектная модель (см. рис. 1), для построения которой необходимо сформировать ряд множеств [2]:

1) множество опорных точек

$$\mathbf{T} = \{\mathbf{T}_i \mid \mathbf{T}_i \in \mathbf{T} \wedge \mathbf{T}_i = (x_i, y_i, r_i)\}, \quad (1)$$

где x_i, y_i – координаты опорной точки; r_i – радиус аппроксимации графических примитивов, опирающихся на i -ю точку;

2) множество графических примитивов (отрезков и дуг окружностей), определяющих геометрию расчетной области (границы раздела сред подобластей)

$$\mathbf{P} = \{\mathbf{P}_i \mid \mathbf{P}_i \in \mathbf{P} \wedge \mathbf{P}_i = (\mathbf{T}_{1i}, \mathbf{T}_{2i}, \mathbf{T}_{3i}, g_i, A_{gi}) \wedge \mathbf{T}_{1i,2i,3i} \subset \mathbf{T}\}, \quad (2)$$

где $\mathbf{T}_{1i}, \mathbf{T}_{2i}, \mathbf{T}_{3i}$ – опорные точки, принадлежащие множеству $\mathbf{T}$; g_i – признак границы расчетной области (примитив может не лежать на границе, или быть элементом границы Неймана, границы Дирихле или границы периодичности); A_{gi} – значение векторного магнитного потенциала на границе (если i -й примитив принадлежит границе Дирихле);

3) множество подобластей с заданными характеристиками сред

$$\mathbf{R} = \{\mathbf{R}_i \mid \mathbf{R}_i \in \mathbf{R} \wedge \mathbf{R}_i = (x_i, y_i, n_i, i_i, h_{xi}, h_{yi}, \mathbf{M}_i) \wedge \mathbf{M}_i \subset \mathbf{M}\}, \quad (3)$$

где x_i, y_i – координаты точки, гарантированно лежащей внутри i -й подобласти; n_i – количеством проводников, уложенных в i -й подобласти; i_i – величиной тока в проводниках; h_{xi}, h_{yi} – координаты вектора намагничивания (для постоянного магнита); $\mathbf{M}_i$ – материал подобласти из множества материалов $\mathbf{M}$. В качестве подобластей могут выступать пазы статора и ротора, зубцы и спинки магнитопроводов статора и ротора, полюса, воздушный зазор и пр.

4) множество материалов подобластей

$$\mathbf{M} = \{\mathbf{M}_i \mid \mathbf{M}_i \in \mathbf{M} \wedge \mathbf{M}_i = (p_i, s_i, \mu_i, \mathbf{N}_i) \wedge \mathbf{N}_i = \{\mathbf{N}_{ij} \mid \mathbf{N}_{ij} \in \mathbf{N}_i \wedge \mathbf{N}_{ij} = (B_{ij}, H_{ij})\}\}, \quad (4)$$

где p_i – тип среды (немагнитная среда, ферромагнитная среда или постоянный магнит); s_i – марка стали или постоянного магнита (для ферромагнитных стальных сред); μ_i – относительная магнитная проницаемость (для немагнитных сред); $\mathbf{N}_i$ – нелинейная характеристика намагничивания (для ферромагнитной среды) или кривая возврата (для постоянного магнита), заданная таблицей значений магнитной индукции B и напряженности магнитного поля H ;

5) множество секций

$$\mathbf{S} = \{\mathbf{S}_i \mid \mathbf{S}_i \in \mathbf{S} \wedge \mathbf{S}_i = (x_{1i}, y_{1i}, x_{2i}, y_{2i}, w_i, i_i, r_i)\}, \quad (5)$$

где $x_{1i}, y_{1i}, x_{2i}, y_{2i}$ – координаты активных сторон начала и конца секции; w_i – количество витков в секции; r_i – сопротивление секции; i_i – ток секции.

6) множество ветвей, образованных последовательно соединенными секциями,

$$\mathbf{B} = \{\mathbf{B}_i \mid \mathbf{B}_i \in \mathbf{B} \wedge \mathbf{B}_i = (i_i, \tilde{L}_1, \dots, \tilde{L}_1, \dots), \quad (6)$$

где i_i – ток ветви; $\tilde{L}_1, \dots, \tilde{L}_1$ – подмножество множества секций $\mathbf{S}$;

7) множество обмоток

$$\mathbf{W} = \{\mathbf{W}_i \mid \mathbf{W}_i \in \mathbf{W} \wedge \mathbf{W}_i = (i_i, \tilde{L}_1, \dots, \tilde{L}_1, \dots), \quad (7)$$

где i_i – ток обмотки; $\tilde{L}_1, \dots, \tilde{L}_1$ – подмножество множества ветвей $\mathbf{B}$;

8) вращающийся массив, представляющий собой множество подобластей и секций, способных поворачиваться как одно целое вокруг заданной оси,

$$\mathbf{V} = (x_v, y_v, \tilde{L}_v, \dots, \tilde{L}_v, \dots), \quad (8)$$

где x_v, y_v – координаты оси вращения; $\tilde{L}_v, \dots, \tilde{L}_v$ – подобласть зазора, ограничивающего вращающийся массив;

9) якорь машины постоянного тока

$$\mathbf{A} = (\tilde{L}_a, \dots, \tilde{L}_a, \dots, \tilde{L}_a, \dots, \tilde{L}_a, \dots, \tilde{L}_a, \dots, \tilde{L}_a, \dots), \quad (9)$$

где $\mathbf{W}_a$ – обмотка якоря, принадлежащая множеству обмоток $\mathbf{W}$, но обладающая особым специфическим свойством, обеспечивающей ей перестройку состава параллельных ветвей в зависимости от положения якоря по отношению к неподвижным щеткам; $\mathbf{V}$ – вращающийся массив, связанный с якорем; $\mathbf{K}$ – коллекторный узел, заданный вектором

$$\mathbf{K} = (d_k, z_k, \alpha_k, p, b_{щ}, \alpha_{щ}), \quad (10)$$

где d_k – диаметр коллектора; z_k – число коллекторных пластин; α_k – угол расположения первой пластины по отношению к горизонтали; p – число пар полюсов, из которого определяется количество щеточных пальцев; $b_{щ}$ – ширина щетки; $\alpha_{щ}$ – угол расположения первого щеточного пальца по отношению к горизонтали.

Все приведенные выше объекты формируются программным образом по заданным описаниям. Для этого библиотека EMLib предоставляет пользователю набор функций, являющихся конструкторами и деструкторами объектов, а также функции управления генерацией конечно-элементной модели (см. рис. 1). К ним относятся, в частности,

1) функция триангуляции, организующая построение конечно-элементной сетки с формированием множества узлов $\mathbf{U}$ и множество элементов $\mathbf{E}$ конечно-элементной (КЭ) сетки (триангуляция осуществляется фронтальным методом)

$$\mathbf{U} = \{\mathbf{U}_i \mid \mathbf{U}_i \in \mathbf{U} \wedge \mathbf{U}_i = (x_i, y_i, p_i, A_i)\}, \quad (11)$$

$$\mathbf{E} = \{\mathbf{E}_i \mid \mathbf{E}_i \in \mathbf{E} \wedge \mathbf{E}_i = (\mathbf{U}_{1i}, \mathbf{U}_{2i}, \mathbf{U}_{3i}, \mathbf{R}_i) \wedge \mathbf{U}_{1i, 2i, 3i} \subset \mathbf{U} \wedge \mathbf{R}_i \subset \mathbf{R}\}, \quad (12)$$

где x_i, y_i – координаты узла КЭ-сетки; p_i – признак границы узла КЭ-сетки; A_i – величина векторного магнитного потенциала в узле; $\mathbf{U}_{1i}, \mathbf{U}_{2i}, \mathbf{U}_{3i}$ – узлы КЭ-сетки в вершинах i -го элемента; $\mathbf{R}_i$ – подобласть, к которой принадлежит i -й элемент.

2) функция регуляризации построенной КЭ-сетки;

3) функция оптимизации нумерации узлов построенной КЭ-сетки;

4) функции задания параметров модели (тип системы координат, критерии окончания итерационного процесса, периодичность) и т.п.

Описания объектов могут быть сформированы «вручную», однако наилучшим способом является создание параметрических генераторов КЭ-моделей, под которыми понимаются макросы или подпрограммы, написанные пользователем, которые по заданным алгоритмам формируют описания объектов модели для целого класса однотипных устройств, вызывая при этом функции конструирования объектов и управления генерацией модели.

Одной из актуальных задач инженерного анализа электрических машин является создание расширяемого универсального параметрического генератора, позволяющего генерировать КЭ-модели электрических машин произвольной конструкции. Разработка такого генератора ведется на базе пакета MSExcel, имеющего встроенную систему программирования Visual Basic for Application. Список параметров, определяющих конфигурацию расчетной области, оформляется в виде таблицы, данные в которую могут вноситься вручную или переноситься автоматически из системы проектирования данного класса машин. В частности, были разработаны системы расчета машин постоянного тока явнополусной и неявнополусной конструкции, универсальных коллекторных двигателей, асинхронных машин и силовых трансформаторов.

Основная проблема, возникающая при создании универсального параметрического генератора КЭ-модели электрических машин, состоит в создании расширяемой библиотеки пазов статора и ротора. При создании такой библиотеки целесообразно строить не целикомые пазы, а половины пазов, из которых затем могут быть построены различные комбинированные пазы. Библиотека пазов в настоящее время пополняется. Аналогично создается библиотека разного рода технологических выемок, определяющих форму пакета статора. Все это позволяет гибко модифицировать форму расчетной области путем выбора элементов из библиотеки и задания численных значений параметров, определяющих геометрию машины.

В частности, на рис. 2 приведены некоторые примеры расчетных областей машины постоянного тока, сгенерированных одним и тем же параметрическим генератором КЭ-модели. В первой модели машина имеет неявнополусную конструкцию; во второй присутствует усечение статора и прорез по осям главных полюсов, пазы статора имеют разную глубину; третья модель представляет явнополусную конструкцию машины; четвертая модель выходит за пределы традиционной конструкции и является экспериментальной. Следует отметить, что в программу параметрической генерации модели могут быть включены элементы, влияние которых необходимо выявить в ходе последующих численных экспериментов с данными моделями. В частности, разработанный нами параметрический генератор позволяет реализовывать эксцентриситет ротора, что требуется для решения задачи исследования системы виброзащиты электроустановки.

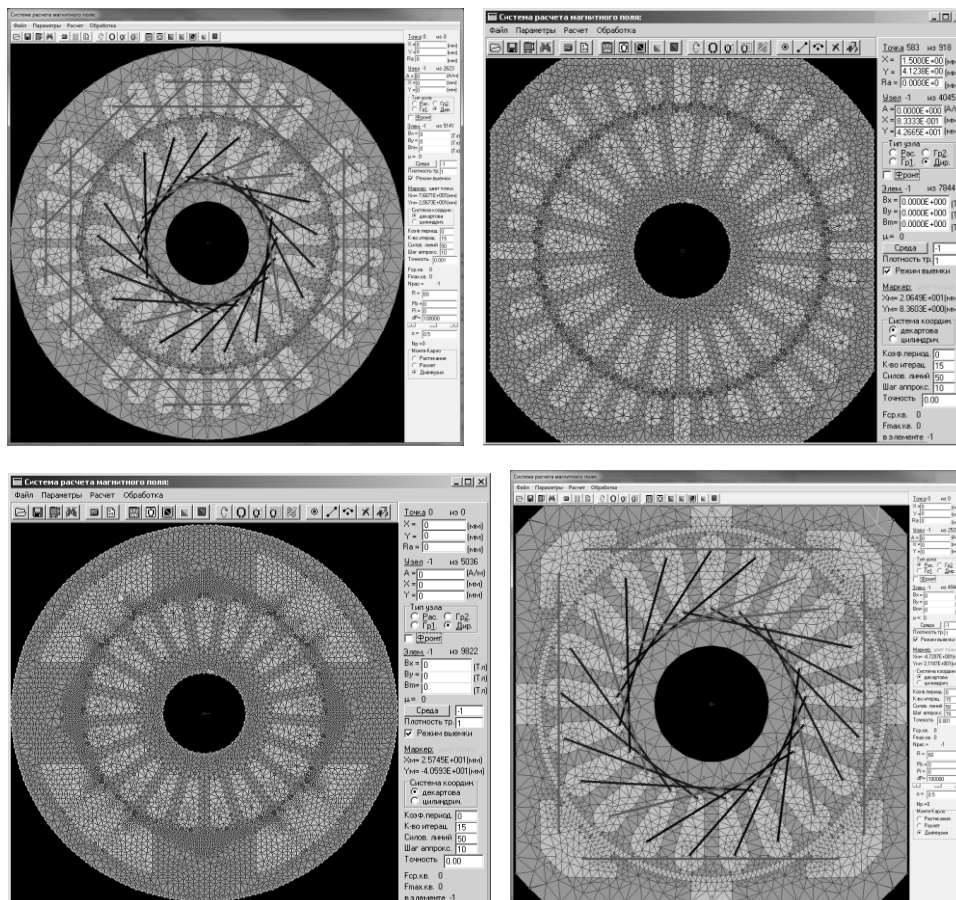


Рисунок 2 – Примеры КЭ-моделей машины постоянного тока, сгенерированные одним и тем же параметрическим генератором

Описанный подход к автоматизации генерации конечно-элементной модели машины позволяет осуществить структурную оптимизацию ее конструкции путем включения в состав варьируемых параметров величин, определяющих форму расчетной области. Такая задача может быть решена, например, с использованием библиотеки генетических алгоритмов пакета MatLab (данный подход был апробирован при оптимизации силовых трехфазных трансформаторов).

Численное исследование КЭ-моделей, сгенерированных с помощью библиотеки EMLib, строиться на понятии программируемого эксперимента [2, 3]. Для этого библиотека предоставляет в базовое приложение (обычно MSExcel или MatLab) функции управления объектами (например, для задания токов в обмотках, поворота вращающегося массива на заданный угол и т.п.), функции управления расчетным процессом, функции расчета состояния объектов по результатам расчета поля (например, расчета магнитной индукции в элементах, потокосцеплений обмоток, механических усилий, электромагнитного момента и т.п.), функции доступа к структуре данных модели (см. рис. 1).

В качестве примера можно рассмотреть типовую программу исследования динамических свойств спроектированной электрической машины. Программа включает в себя серию расчетов магнитного поля на созданной модели

при разных сочетаниях токов в обмотках $i_1, \dots, i_n$ и разных положениях ротора α относительно статора. Полученные таким образом матрицы потокоцеплений $\Psi_k(i_1, \dots, i_n, \alpha)$ аппроксимируются многомерными сплайнами, по которым берутся частные производные и подставляются в динамическую модель электрической машины, которая имеет вид

$$\begin{Bmatrix} \frac{di_1}{dt} \\ \dots \\ \frac{di_n}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Psi_1 + L_{1л}}{\partial i_1} & \dots & \frac{\partial \Psi_1}{\partial i_n} & \frac{\partial \Psi_1}{\partial \alpha} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Psi_n}{\partial i_1} & \dots & \frac{\partial \Psi_n + L_{nл}}{\partial i_n} & \frac{\partial \Psi_n}{\partial \alpha} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 - i_1 R_1 \\ \dots \\ u_n - i_n R_n \\ \frac{M - M_b}{J} \end{Bmatrix}, \quad (13)$$

где $L_{кл}$ – индуктивности лобового рассеяния k -й обмотки; u_k – напряжение, приложенное к k -й обмотке; R_k – сопротивление k -й обмотки; M – электромагнитный момент, определяемый по результатам расчета магнитного поля при каждом сочетании токов и каждом положении якоря; M_b – момент внешних сил, приложенных к валу машины; J – момент инерции.

В полученных таким образом результатах численного моделирования динамики электрической машины находят отражение все нетрадиционные особенности конструкции электрической машины, что отличает полевые динамические расчеты электрических машин от традиционных упрощенных цепных моделей [2, 3]. При этом собственно время расчета полученной полевой динамической модели оказывается сопоставимым с временем расчета упрощенной модели, что позволяет использовать эти модели в при моделировании систем управления электроприводами.

Список литературы

1. Тихонов А.И., Булатов Л.Н. Платформонезависимая библиотека конечно-элементного моделирования магнитного поля / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – № 2011614852. Заявка № 2011613040, приоритет от 28.04.2011, Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.06.2011.
2. Тихонов, А.И. Разработка моделей и методов анализа и синтеза решений в автоматизированном проектировании электромеханических устройств: дис. ... д-р техн. наук. : 05.13.12: защищена 02.11.2007 / Тихонов Андрей Ильич. – Иваново, 2007. – 262 с.
3. Шмелев А.С., Пайков И.А., Булатов Л.Н. Методика организации численного исследования электротехнических устройств с использованием библиотеки конечно-элементного моделирования магнитного поля. – "Вестник ИГЭУ", 2014. – Вып. 1. – с. 55 – 61.

УДК 004.932.2

**КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ В ЗАДАЧАХ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
ЯРКОСТНЫХ СЦЕН ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

- © **Р.В. Шестов**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)
© **А.А. Шкромаров**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)
© **Е.А. Шумилов**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)
© **Ю.О. Савельева**, филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет» в г. Сызрани (г. Сызрань, Россия)

**SIMILARITY CRITERIAS IN PROBLEMS OF AGGREGATING
BRIGHTNESS CONTRAST IMAGES OF VIDEOS**

- © **R.V. Shestov**, Syzran Branch of Samara State Technical University
(Syzran, Russia)
© **A.A. Shkromado**, Syzran Branch of Samara State Technical University
(Syzran, Russia)
© **E.A. Shumilov**, Syzran Branch of Samara State Technical University
(Syzran, Russia)
© **Y.O. Saveleva**, Syzran Branch of Samara State Technical University
(Syzran, Russia)

В статье представлены различные критерии достоверности комплексирования изображений. Описаны критерии достоверности при использовании корреляционного метода совмещений и метода функционализации. Описан алгоритм работы программной реализации системы определения параметров движения автономной мобильной платформы.

Ключевые слова: оптический поток, критерий подобия, подстилающая поверхность, вектор сдвига, сопряженные области, видеоизображение, комплексирование

The article presents the different reliability criterias of aggregating images. The article describes reliability criterias by using the aggregating images correlation method and method of functionalization. It provides the software implementation algorithm for the system of determining movement parameters of the autonomous mobile platform.

Key words: optical flow, similarity criteria, underlying surface, shear vector, associated fields, video, aggregating.

E-mail: bimerm3@mail.ru

Одной из проблем при решении задач в области цифровой обработки изображений является проблема достоверности комплексирования изображений.

Допустим, что существуют изображения E^1 и E^2 . Эти изображения отображают одну и ту же яркостную сцену, но при этом сформированы они в разные моменты времени. Кроме того, координаты сопряженных областей $E^1(D_1)$ и $E^2(D_2)$ изображений E^1 и E^2 при рассмотрении их в глобальной системе различны.

Для совмещения сопряженных областей $E^1(D_1)$ и $E^2(D_2)$ изображений E^1 и E^2 следует определить величину оптического потока. Результатом этой операции станет расчет вектора сдвига. Как правило, при использовании любого метода расчета оптического потока, совмещение изображений с первого шага (итерации) не представляется возможным. Довольно часто даже при визуальном хорошем комплексировании сопряженных областей алгоритм совмещения продолжает

работать, перемещая область $E^1(D_1)$ вокруг некоторой окрестности области $E^2(D_2)$. В связи с этим процедура перемещения подвижной области $E^1(D_1)$ с последующим совмещением ее с областью $E^2(D_2)$ может быть бесконечной.

Таким образом возникает необходимость использования критерия подобия. В статье представлено описание существующих критериев останова, проанализированы их основные достоинства и недостатки, а также представлена программная реализация системы определения параметров движения автономной мобильной платформы (АМП). В основе описываемой измерительной системы лежат алгоритмы обработки цифровых изображений, реализованные на базе метода функциональных преобразований.

Корреляционный метод расчета оптического потока

В основе данного метода лежит анализ перемещения между двумя последовательными изображениями. Основной задачей метода является поиск характеристического признака между сопряженными областями $E^1(D_1)$ и $E^2(D_2)$ изображений E^1 и E^2 в пределах определенного диапазона поиска. В пределах этого диапазона поиска необходимо определить оптимальное подобие между сопряженными областями.

Таким образом, пространственные структуры признаков областей $E^1(D_1)$ и $E^2(D_2)$ изображений E^1 и E^2 считаются подобными, если они отличаются на коэффициент отражающий разницу в освещенности. [4, с. 357]

В результате для совмещения сопряженных областей корреляционным методом необходимо максимизировать коэффициент взаимной корреляции.

$$k(f, g) = \frac{\sum_{(x,y) \in X} (f(x,y) - f^0)(g(x,y) - g^0)}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in X} (f(x,y) - f^0)^2} \sqrt{\sum_{(x,y) \in X} (g(x,y) - g^0)^2}} \quad (1)$$

где: $f(x,y)$, $g(x,y)$ – функции интенсивности; X – поле зрения;

f^0, g^0 – средние значения интенсивности;

В результате обнаружение фрагмента изображения g по методу максимальной корреляционной связи осуществляется по правилу:

$$J = \operatorname{argmax}(k, (g, f_i)) \quad (2)$$

Если коэффициент взаимной корреляции равен нулю, то структуры совмещаемых изображений полностью не подобны. При равенстве коэффициента взаимной корреляции единице признаки совмещаемых структур являются подобными [2, с. 213]

Таким образом, в качестве критерия подобия возможно использовать коэффициент взаимной корреляции, сравнивая его значение с опорной величиной.

Для более точного сравнения пар изображений часто используется критерий подобия на основе нормализованной корреляционной функции.

Основной задачей при использовании этого критерия подобия является определение вектора параметров преобразования P , который связывает координаты эталонного и текущего изображений. [2, с. 215]

Вектор P находится путем максимизации меры сходства изображений, в качестве которой используется функция нормализованной корреляции:

$$k(p) = \frac{\sum_{(x,y)} f(x,y) g(x_1 y_1) - N \bar{f} \bar{g}}{(\sum_{(x,y)} f^2(x,y) - N \bar{f}^2)^{1/2} (\sum_{(x,y)} g^2(x,y) - N \bar{g}^2)^{1/2}} \quad (3)$$

где $\sum_{x,y}$ – суммирование по всем пикселям эталона;

N – количество пикселей

f – средняя яркость, определяемая согласно формуле:

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y)} f(x, y), \bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y)} g(x_1, y_1) \quad (4)$$

Таким образом задачу точного отождествления соответствующих точек изображения возможно решить путем нахождения вектора параметров преобразования из условия:

$$p^* = \operatorname{argmax}_k(p) \quad (5)$$

Дальнейшим развитием корреляционного метода обнаружения подобия изображения с использованием эталонов явился морфологический проекционный подход предложенный А.Ю. Пытьевым. [2, с. 215]

Суть данного подхода заключается в следующем: допустим изображения являются элементами гильбертова пространства $f \in L_2^X$ где X – поле зрения. Тогда возможно говорить о норме изображения $\|f\|$ и расстоянии между изображениями равно $\|f_1 - f_2\|$, где норма понимается как

$$\|f\|^2 = \iint_X f^2(x, y) dx dy \quad (6)$$

Далее пусть задано некоторое выпуклое и замкнутое подмножество изображений $Z \in L_2^X$. Тогда возможно любому изображению $g \in L_2^X$ представить изображение $f_{\min} \in Z$ такое что:

$$\|g - f_{\min}\| = \min\{\|g - f\|, f \in Z\} \quad (7)$$

Такое отображение всегда будет проектором $f_{\min} = P_{rz}(g)$ т.е. $\langle f_{\min}$ есть проекция g на Z . Используя понятие проекции возможно определить численную меру близости изображения g к множеству изображений Z , а именно морфологический коэффициент корреляции $K(g, Z)$.

$$K(g, Z) = \|P_{rz}(g)\| / \|g\| \quad (8)$$

Основным достоинством морфологического коэффициента корреляции является возможность более полного учета условий регистрации изображений. То есть возможно сравнивать изображение с эталоном инвариантно к любым преобразованиям.

Аналогично обычному корреляционному обнаружению, морфологическое обнаружение изображения f по принципу максимума корреляционного коэффициента осуществляется по правилу:

$$J = \operatorname{argmax}(K_T, (g, f_i)) \quad (9)$$

При этом коэффициент морфологической корреляции, как правило, превышает норму взаимной корреляционной функции текущего и эталонного изображений. [2, с. 216]

В качестве критерия подобия между эталонным и текущим изображениями может использоваться критерий сравнения характерных черт эталонного и текущего изображений. При этом мера близости определяется согласно следующей формуле:

$$p = \sum_{i=1}^m \alpha_i p(F_{i\text{ти}} - F_{i\text{эи}}) \quad (10)$$

где p – мера близости между конструируемыми разработчиком алгоритма векторными функциями F_i – i -й «характерной черты» текущего и эталонного изображения соответственно. α_i – весовой коэффициент i -й «характерной черты».

Качество комплексирования изображений с использованием критерия подобия на основе сравнения характерных черт зависит от типа выбранных характерных точек. В случае использования в качестве характерных точек линий и областей качество комплексирования ухудшается. [2, с 222]

Метод геометрического комплексирования

В основе такого метода комплексирования лежит регрессионный подход. На первом этапе по аналитическим моделям создается непрерывная картографическая проекция путем преобразования исходных снимков. На втором этапе с использованием одноименных точек из общих областей совмещаемых снимков устраняются остаточные геометрические рассогласования. [1, с. 168]

Пусть необходимо определить взаимное геометрическое соответствие между двумя разноименными снимками, представленными в одной картографической проекции: базовым изображением $D_i(x_i, y_i)$ и присоединяемым $D_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$. Для этих изображений определены функции картографического проектирования:

$$X_v = S_x(\varphi, \lambda, K_v, \psi_v, \theta_v) = S_{x,v}(\varphi, \lambda), \quad (11)$$

$$Y_v = S_y(\varphi, \lambda, K_v, \psi_v, \theta_v) = S_{y,v}(\varphi, \lambda), v \in \{i, i+1\} \quad (12)$$

где K_i – вектор параметров орбиты;

Выразив φ и λ при $v = i$ как некоторые функции $\varphi = S_{\varphi i}(x_i, y_i)$, $\lambda = S_{\lambda i}(x_i, y_i)$ для $v = i+1$ получим:

$$X_{i+1} = S_{x,i+1}[S_{\varphi i}(x_i, y_i), S_{\lambda i}(x_i, y_i)] = S_{x,i+1}^*(x_i, y_i) \quad (13)$$

$$Y_{i+1} = S_{y,i+1}[S_{\varphi i}(x_i, y_i), S_{\lambda i}(x_i, y_i)] = S_{y,i+1}^*(x_i, y_i) \quad (14)$$

Функции S_{φ} , S_{λ} , обратного перехода от геодезических координат (φ, λ) к картографическим (x, y) в аналитическом виде не выражаются.

Для определения S_{φ} , S_{λ} необходимо воспользоваться итерационной процедурой. На первом этапе необходимо определить начальное приближение широты и долготы (φ_0, λ_0) , в качестве которого могут быть приняты координаты центра кадра: $\varphi_0 = 0,5(\varphi_{max} + \varphi_{min})$, $\lambda_0 = (\lambda_{max} + \lambda_{min})$.

Затем необходимо воспользоваться формулой приращения функции нескольких переменных применительно к прямым зависимостям картографического проектирования присоединяемого снимка:

$$\Delta x_i = \frac{\partial S_{xi}}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial S_{xi}}{\partial \lambda} \Delta \lambda \quad (15)$$

$$\Delta y_i = \frac{\partial S_{yi}}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial S_{yi}}{\partial \lambda} \Delta \lambda \quad (16)$$

Выражая $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$ через Δx_i , Δy_i получим поправки к географическим координатам искомой точки для s -го шага:

$$\Delta \varphi_s = (\Delta x_{is} \frac{\partial S_{yi}}{\partial \lambda} - \Delta y_{is} \frac{\partial S_{xi}}{\partial \lambda}) / (\frac{\partial S_{yi}}{\partial \varphi} \frac{\partial S_{yi}}{\partial \lambda} - \frac{\partial S_{xi}}{\partial \varphi} \frac{\partial S_{xi}}{\partial \lambda}) \quad (17)$$

$$\Delta \lambda_s = (\Delta x_{is} \frac{\partial S_{yi}}{\partial \varphi} - \Delta y_{is} \frac{\partial S_{xi}}{\partial \varphi}) / (\frac{\partial S_{yi}}{\partial \varphi} \frac{\partial S_{yi}}{\partial \lambda} - \frac{\partial S_{xi}}{\partial \varphi} \frac{\partial S_{xi}}{\partial \lambda}) \quad (18)$$

Представленные выше частные производные определяются как конечные разности. Рассогласование плоскостных координат на каждой итерации находится как:

$$\Delta x_{is} = x_i - S_{xi}(\varphi_s, \lambda_s) \quad (19)$$

$$\Delta y_{is} = y_i - S_{yi}(\varphi_s, \lambda_s) \quad (20)$$

На каждой итерации производится уточнение географических координат искомой точки $\varphi_{s+1} = \varphi_s + \Delta\varphi_s$, $\lambda_{s+1} = \lambda_s + \Delta\lambda_s$. Таким образом в качестве критерия подобия используется величина поправки для уточнения географических координат. Комплексированные изображения считаются совмещенными в том случае, если рассогласование в плоскостных координатах достигает незначительных величин, обычно десятые доли пиксела [1, с. 173].

Довольно часто использование критерия подобия на основе измерения угла рассогласования является осложненным тем фактором, что при анализе изображения вектора движения на некоторых участках являются разнонаправленными. Области с разнонаправленными векторами чаще всего встречаются на монотонных областях кадров [3, с. 276].

В связи с этим для правильного определения глобального движения кадра необходимо осуществлять фильтрацию векторов. Суть данной операции заключается в следующем: каждому вектору движения можно поставить в соответствие величину, которая характеризует степень соответствия действительному движению, то есть достоверность. Такую величину можно использовать для фильтрации поля движения векторов.

Критерий останова, основанный на анализе приращения длины вектора сдвига

Простейшим методом останова итерационной процедуры является метод основанный на анализе длины приращения вектора сдвига. Такой метод был реализован в программе анализа параметров движения автономной мобильной платформы (АМП), например, железнодорожного вагона – лаборатории.

Критерием останова итерационной процедуры является приращение вектора на текущей итерации. Если данное приращение вектора меньше порогового значения, то происходит останов итерационной процедуры.

Допустим АМП совершает плоскопараллельное перемещение относительно подстилающей поверхности. На борту АМП установлена оптическая система в состав которой входят две ПЗС линейки. ПЗС линейки установлены друг за другом на известном фиксированном расстоянии.

При перемещении носителя оптической системы ПЗС-линейки производят сканирование подстилающей поверхности, формируя тем самым видеоизображение пройденного носителем пути.

Частота формирования строк видеоизображения ПЗС-линейками одинакова. Видеоизображения, полученные с линеек, сдвинуты во времени относительно друг друга по причине колебаний скорости носителя.

Требуется определить пройденный носителем путь и среднюю скорость. Определение параметров движения носителя предлагается осуществить с использованием способа на основе анализа времени пролета.

Зная расстояние между ПЗС линейками, частоту работы генератора ПЗС-линеек и количество строк между сопряженными областями $E^1(D_1)$ и $E^2(D_2)$ возможно определить скорость АМП. Для этого на видеоизображениях, полученных с ПЗС-линеек визуально выделяют две области анализа $D_1(x_1, y_1)$, $D_2(x_2, y_2)$, которые отображают одну и ту же яркостную сцену. Впоследствии запускается алгоритм совмещения. Если совмещение состоялось, то анализируемые области можно называть сопряженными. Тогда при рассмотрении видеоизображений, полученных с разных ПЗС-линеек в глобальной (общей для обоих

изображений, начало системы координат верхний левый угол видеоизображения, полученного с первой по ходу движения АМП ПЗС-линейки) системе координат возможно будет определить сдвиг (количество строк) между сопряженными областями, $D_2(x_2, y_2) = D_1(x_1 + s_x, y_1 + s_y)$, $S = s_x + s_y$. Далее, вектор S будем называть вектором сдвига между сопряженными областями, составляющие вектора сдвига s_x и s_y являются проекциями на оси абсцисс и ординат.

При совмещении областей алгоритм работает итерационно, то есть происходит поиск наилучшего решения сформированной системы уравнений, результатом которой являются составляющие вектора сдвига $s_x + s_y$. При идеальном совмещении составляющие вектора сдвига на последней итерации должны быть равны 0. Для останова итерационной процедуры используется критерий подобия.

Результатом каждой итерации является формирование вектора сдвига определенной длины. На последующей итерации происходит формирование новой системы уравнений. Если формируемый вектор сдвига менее заданного порогового значения, то происходит останов итерационной процедуры.

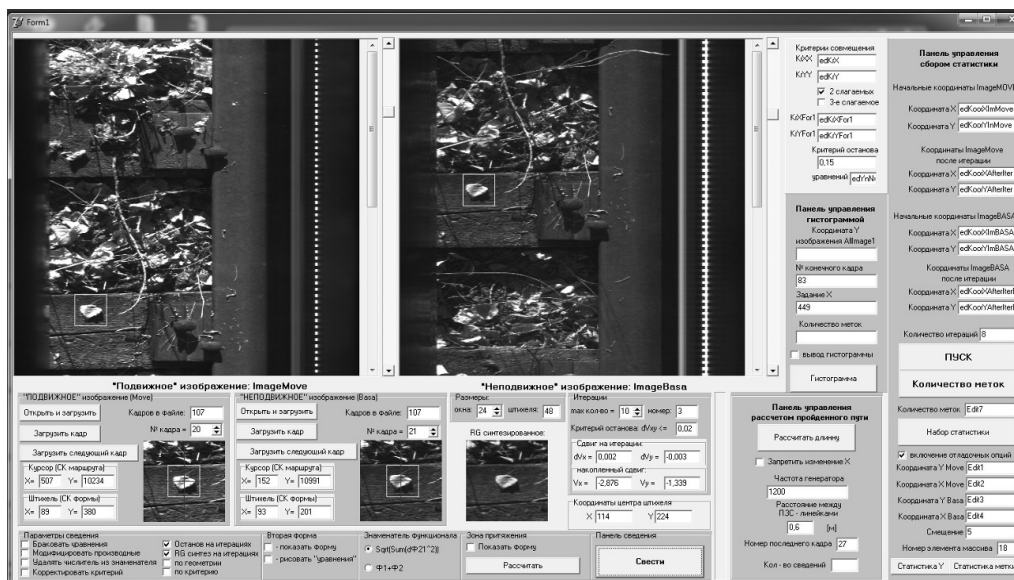


Рисунок 1 – Интерфейс программной реализации системы определения параметров движения автономной мобильной платформы

Реализация такого критерия подобия является наиболее простой из всех описанных выше способов, однако не всегда удастся достичь приемлемых результатов. В частности, при совмещении областей видеоизображений, которые сформированы при недостаточной освещенности, критерий показывает посредственные результаты. В частности, успешность совмещения зачастую зависит от морфологии анализируемых фрагментов.

Закключение

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что использование критерия подобия, в основе которого лежит определение длины вектора сдвига целесообразно в тех случаях, когда сканируемая ПЗС-линейками яркостная сцена достаточно облучена сторонним источником света. В противном случае использование такого критерия показывает посредственные результаты, успешность которых зависит от морфологии

анализируемых фрагментов. Дальнейшего теоретического рассмотрения требуют задачи модернизации критерия подобия на основе длины вектора и практическая апробация на видеоизображениях, полученных при недостаточной освещенности сцены сторонним источником излучения.

Список литературы

1. Злобин В.К., Еремеев В.В. «Обработка аэрокосмических изображений». – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 288с. ISBN 5-9221-0739-9
2. «Современные информационные технологии в задачах навигации и наведении беспилотных летательных аппаратов» / под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2009. -556с. – ISBN 978-5-9221-1168-3
3. Стрельников К.Н., Солдатов С.А., Ватолин Д.С. "Качественное определение глобального движения кадра с использованием векторов движения", материалы девятого научно-практического семинара "Новые информационные технологии в автоматизированных системах", стр. 47-55, Москва, март 2006.
4. Яне Б. «Цифровая обработка изображений». – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. – ISBN 978-5-94836-122-2 Y.Keller, A.Averbuch. "Global parametric image alignment via high-order approximation". Electrical & Computer Engineering Department, Ben-Gurion University of the Negev, Israel b School of Computer Science, Tel Aviv University, Aviv 69978, Israel.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

УДК 378.14

УПРАВЛЕНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ

© *И.В. Куликова, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

MANAGING EDUCATIONAL PROCESS BASED ON VIDEOCONFERENCE TECHNOLOGIES

© *I.V. Kulikova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Статья посвящена описанию изменения компонентов управления образовательной деятельностью, которые вызваны внедрением технологий видеоконференций; подробно рассматриваются трансформации в сферах управления учебным материалом, управления деятельностью обучаемых и управления отдельным обучаемым.

Ключевые слова: управление учебным процессом, видеоконференция, инновационные технологии, деятельность педагога.

The article describes specific components of managing teaching / learning process which is based on videoconference technologies; transformations in such spheres as management of content, management of student participation and management of face are considered thoroughly.

Key words: educational process management, videoconference, innovative technology, teacher activity.

E-mail: i-kulikova@list.ru

Решая задачи оптимизации процесса освоения студентами новых знаний, умений и навыков, мы сталкиваемся с необходимостью использовать для этого различные компьютерные технологии, которые принято называть инновационными. Однако внедрение в обучение любого нового метода или инструмента должно сопровождаться внимательным рассмотрением того, насколько его компоненты соответствуют поставленным учебным целям и задачам, того, превышают ли преимущества его использования те недостатки, которые могут при этом возникнуть, и каким образом данное новшество изменяет взаимодействие обучаемых и обучающихся.

Глобальные информационные сети создали новые схемы восприятия и понимания учебной информации, которые включают в себя не только текст, но и звук, графические образы, видеоряд [1, с. 144]. Среди этих новых схем имеются такие, которые предназначены только для создания, хранения и распространения учебных материалов, а также такие, которые подразумевают непосредственное общение обучающихся между собой или обучающихся и педагога. Одной из самых перспективных схем учебного общения, опосредованного компьютером, с точки зрения открывающихся возможностей являются, на наш взгляд, технологии видеоконференций. Однако их компоненты, преимущества и недостатки для организации учебного процесса, а также особенности взаимодействия участников изучены недостаточно.

Анализируя применение технологий видеоконференций в учебном процессе, в рамках данной статьи мы постараемся рассмотреть последний из упомянутых аспектов – педагогическое взаимодействие участников или педагогическое управление в ходе обучения.

Педагоги предлагают принимать во внимание три компонента управления образовательной деятельностью [2, с. 113]:

I) управление учебным материалом (management of content) – отбор или создание информации, которая должна быть усвоена студентами в ходе обучения;

II) управление деятельностью обучаемых (management of student participation) – создание и поддержание условий, при которых студенты смогут овладеть учебным материалом быстро и эффективно;

III) управление отдельным обучаемым (management of face) – учет личностных особенностей студентов, влияющих на продуктивность их работы.

Рассмотрим, как реализуются эти компоненты в подготовке и проведении занятия на основе видео конференций.

Планируя использование в обучении данной технологии, преподаватель должен начать с выбора типа организации соединения и вида конференции.

По типу организации соединения видеоконференции могут быть двусторонними (point-to-point), т.е. связывающими две площадки, или многосторонними (multi-site), т.е. связывающими три или более площадок, при этом количество участников в обоих типах конференций может быть любым. Если конференция является многосторонней, то все ее площадки могут иметь одинаковые права или к одной главной может быть подключено несколько удаленных. При этом следует принимать во внимание, что качество звука и изображения может существенно зависеть от того, какой тип соединения выбран.

В специализированной литературе принято выделять три вида видеоконференций:

- Конференции, использующие компьютеры с выходом в интернет (IP),
- Конференции, использующие специальные цифровые телефонные линии (ISDN – Integrated Services Digital Network),
- Конференции, использующие сети, специально созданные для этого на конкретной территории (MAN – Metropolitan Area Networks) и технологию ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Для организации IP-конференции используют стационарные компьютеры и интернет, что делает их недорогими и доступными, поскольку участникам нужны только компьютер, доступ в интернет, простые видеокамера и микрофон и относительно недорогое специальное программное обеспечение. Сеанс может быть организован в любое удобное для вас время из того места, где находится ваш компьютер.

Однако этот тип конференций имеет существенные недостатки: плохое качество передаваемого звука и видео и зависимость от интернет-соединения, которое может работать нестабильно. Этот тип также не подходит для нескольких участников, которые находятся на одной площадке и вынуждены пользоваться одним компьютером.

Для организации ISDN-конференции используются цифровые телефонные линии и специальные соединения, причем для работы может одновременно

использоваться от 2 до 32 линий. Преимуществами данного типа являются доступность ISDN-соединений и возможность выбора количества используемых линий. Соединения, использующие 6 и более каналов, гарантируют хорошее качество передачи звука и изображения. Кроме того, существуют портативные устройства, которые могут быть использованы в любом помещении, имеющем ISDN-соединение.

К недостаткам этого типа относятся следующие: а) соединения, использующие менее 6 каналов, некачественно передают звук и видео; б) оборудование и его установка достаточно дороги, само соединение пока не является повсеместно доступным; в) плата за пользование ISDN-линиями (особенно имеющими 6 или более каналов) довольно высока.

Для организации АТМ-конференции используются кабельные каналы MAN и технология сжатия сигнала, что обеспечивает передачу высококачественного звука и изображения, быструю и надежную связь в специально оборудованных местах. Очевидным недостатком является отсутствие на территории, где располагается ваш вуз, каналов MAN, которые созданы и поддерживаются территориальными властями. Если такие каналы есть, проблему может представлять необходимость координировать время проведения ваших занятий с другими организациями, претендующими на использование MAN.

В состав обязательного минимума оборудования, которое должны иметь все участники видеоконференций входят монитор, видеокамера, микрофон и специальное программное обеспечение. Эффективность занятий может повысить использование проектора и экрана, чтобы демонстрировать изображения для большого количества участников, сканера, чтобы в случае необходимости перевести в цифровой формат и отослать участникам нужную информацию, и программное обеспечение, которое позволяет участникам пересылать друг другу сведения разного рода.

Выбрав подходящий для конкретной образовательной ситуации вид конференции, педагог должен уделить внимание подготовке учебных материалов, разработке алгоритма собственных действий и техническому оснащению аудитории.

Правильно оборудованная аудитория должна иметь два экрана (для входящего видеосигнала и для исходящего), у педагога должен быть беспроводной микрофон, который не будет мешать ему передвигаться по аудитории; можно добавить на площадку по несколько фоновых микрофонов, чтобы участники слышали естественную реакцию друг друга на происходящее. Не рекомендуется использовать микрофоны с функцией «нажми, чтобы сказать», т.к. они препятствуют естественному общению, и микрофоны, активируемые голосом, которые часто искажают его.

Важно позаботиться о том, чтобы участники, находящиеся на одной площадке с педагогом имели возможность видеть не только его, но и аудиторию на других площадках, а те, в свою очередь, видели и педагога, и студентов рядом с ним (если они есть).

Необходимо тщательно планировать работу и провести пробное занятие без студентов, чтобы предотвратить возможные проблемы, вызванные недостатками содержательной стороны учебных материалов или техническими сложностями. Существенную роль в том, насколько успешным будет ваше занятие, играет аккуратное распределение времени и четкое следование плану, который определяет: сколько времени педагог потратит на объяснение, а сколько

на повторение и закрепление материала; сколько времени главным действующим лицом будет педагог, а сколько отведено на взаимодействие студентов. В работу должны быть вовлечены участники на всех площадках.

За несколько дней до конференции педагог должен познакомить участников с тем, как будет организована работа, сколько человек и площадок будут принимать участие, при необходимости он должен передать дополнительную литературу, которая будет использована в работе. Важно заранее проверить совместимость оборудования на разных площадках, а также запасной канал связи, который будет использован в случае технических проблем.

Педагоги, имеющие значительный опыт проведения учебных видеоконференций, рекомендуют начать сеанс с представления всех участников, с панорамы всех подключенных площадок и несложных игровых заданий, которые помогут студентам освоиться в новой учебной ситуации и активно включиться в работу [3].

Во время видеоконференции педагог должен говорить четко, небыстро, стараясь сохранять одинаковую громкость голоса, делать паузы, чтобы студенты могли подумать и произнести свой ответ с учетом возможных технических задержек времени. Педагогу нужно ясно показывать, когда он закончил говорить и ожидает ответа. Чтобы указать, кому передается слово, можно использовать жесты.

Чтобы не затруднять визуальное восприятие, педагогу не следует носить контрастную одежду, много передвигаться по аудитории и пользоваться указками (обычными или лазерными), поскольку на других площадках не будет видно, на что он указал. Используемые видеотрейлеры должны иметь хорошее качество, а изображения, попавшие на экран, должны оставаться на нем достаточно долго, чтобы они могли быть переданы на удаленные площадки и рассмотрены участниками.

Педагогу сложно удерживать внимание участников конференции, находящихся на других площадках. Помочь ему в этом может использование разнообразных медиа-ресурсов, в том числе и забавных (например, анимационных фрагментов), а также вовлечение студентов удаленных площадок в диалог.

Организуя и поддерживая такой диалог, важно использовать приемы *breaking the ice*, которые помогут побороть стеснительность и начать общаться между собой участникам на разных площадках. Пытаясь привлечь к разговору всех участников на всех площадках, надо стараться обращаться к ним персонально и давать достаточно времени «на переход хода», когда начинают говорить студенты, находящиеся на другой площадке.

Когда занятие-видеоконференция завершилось, не нужно сразу отключать связь, у студентов должна быть возможность неформального общения с преподавателем, как это обычно случается после традиционного занятия.

Итак, мы видим, что приемы, объем и процедуры педагогического управления при организации учебных занятий на основе видеоконференций существенно отличаются от стандартных. Причем изменения претерпевают все три компонента управляющей деятельности: управление учебным материалом, управление деятельностью обучаемых и управление отдельным обучаемым.

Список литературы

1. Куликова И.В. Специфика педагогической коммуникации в компьютерной сети / Материалы VI всероссийской научно-практической конференции с

- международным участием «Профессионально компетентная личность в мировом образовательном пространстве». Новосибирск: Сибмедиздат НГМУ, 2012. С. 143-147.
2. Nunan D., Lamb C. *The Self-Directed Teacher. Managing the Learning Process*. Cambridge: CUP, 1996.
 3. *Videoconferencing in Teaching and Learning. Case Studying* / Ed. by W. Alexander, C. Higginson, N. Mogly.
 4. <http://www.icbl.hw.ac.uk/lti/vcstudies/vcstudies-all.pdf> (дата обращения 18.11.2016).

УДК 81.322.4

К ВОПРОСУ О МАШИННОМ ПЕРЕВОДЕ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД

© **О.Н. Ясареvская**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

REVISITING MACHINE TRANSLATION: STATISTICAL TRANSLATION

© **O.N. Yasarevskaya**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Автор рассматривает некоторые вопросы машинного перевода. Особое внимание уделяется статистическому машинному переводу. В статье приводятся модели перевода, алгоритмы, оценки параметров статистического машинного перевода, разбирается пример общего выравнивания.

Ключевые слова: машинный перевод, статистический машинный перевод, алгоритмы оценки параметров, общее выравнивание.

The author considers some machine translation issues. Special attention is paid to statistical machine translation. Five statistical machine translation models, algorithms, estimation parameters are presented in the article. An example of a general alignment is demonstrated.

Key words: machine translation, statistical machine translation, parameter estimation algorithms, general alignment.

На сегодняшний день машинный перевод (МП) является одной из самых актуальных и увлекательных тем. Все больше исследователей, работающих в области прикладной лингвистики и информатики, обращаются к ней. На кафедре иностранных языков Пензенского государственного технологического университета ряд преподавателей совместно с кафедрой «Прикладная информатика» активно работают над проблемами МП. В рамках данной темы был выполнен грант: «Математика статистического машинного перевода: оценка параметра» (2013 г., руководитель Пикулин В.В., доцент кафедры «Прикладная информатика»), совместно со студентами ИТ направления публикуются статьи в журналах из перечня ВАК.

Почему такой интерес? Что или, лучше сказать, кто является причиной? Как ни странно – сами студенты, их необъяснимая любовь ко всякого рода электронным переводчикам. И это вполне объяснимо. С одной стороны, движение информационных потоков не знает ни границ, ни времени, ни пространства. Вполне логично, что по мере увеличения потока информации и распространения каналов связи существует возрастающая потребность в переводе этой информации с одного языка на другой. А время сейчас очень дорого, и никто

не хочет тратить его на перевод текста с помощью обычного словаря. С другой стороны, живя в информационном обществе, мы не можем представить свою жизнь без ПК, планшетов, ноутбуков и т.д. и т.п. Поэтому стремление автоматизировать процесс перевода вполне естественно, а проблемы машинного перевода являются очень актуальными и не потеряют этой актуальности в будущем. Все это, несомненно, облегчает жизнь современным школьникам и студентам, тем более что Всемирная паутина предлагает огромный выбор онлайн-переводчиков – на любой вкус и цвет. Но не будем скрывать, качество перевода оставляет желать лучшего. Поэтому вопрос в другом. Возможно ли создать что-то оптимальное, отвечающее основным правилам перевода, чтобы ни один преподаватель не догадался, что это GOOGLE или любой другой электронный переводчик? Попробуем ответить на этот вопрос.

Что же такое МП? Машинный перевод – это процесс перевода текстов с одного языка на другой с помощью специальной компьютерной программы. Ошибочно считать, что это явление появилось совсем недавно. Еще в 1836–1848 гг. Чарльз Бэббидж, разработавший проект цифровой аналитической машины, высказал мысль о возможности МП. Его идея состояла в том, что память объемом 1000 50-разрядных десятичных чисел (по 50 зубчатых колес в каждом регистре) можно использовать для хранения словарей [6].

В 1947 году У. Уивер предложил использовать технику дешифрования для перевода текстов [6]. Этот год считается годом рождения МП. В этом же году был разработан алгоритм осуществления пословного перевода.

В январе 1954 года на машине IBM – 701 была продемонстрирована первая система МП IBM Mark II, которая в 1967 году была признана нерентабельной, что существенно затормозило исследования в этой области [4].

Новый подъем МП переживает в 70-е годы, а в 80-е становится экономически выгодными за счет сравнительной дешевизны машинного времени.

В СССР первый образец перевода с английского на русский язык был получен к концу 1955 года [1]. И с этого года данное направление очень бурно развивается в нашей стране. Последние версии этого программного продукта используют наукоемкие технологии и построены на основе технологии расширенных сетей переходов и формализма нейронных сетей.

При изучении проблемы МП невозможно не коснуться классификации систем МП. Их существует огромное количество в зависимости от цели исследования. Нас же интересуют виды переводов, поэтому мы выбрали классификацию Лари Чайлдса:

1. Полностью автоматический перевод. Это, конечно, дело далекого будущего, т.к. не решены проблемы автоматического понимания, перевода и синтеза текстов [3].

2. Перевод, осуществляемый человеком с использованием компьютера. При данном подходе центром процесса перевода является человек. Программное обеспечение же служит лишь инструментом, делающим процесс перевода более эффективным, а перевод – точным. Здесь речь идет об обычных электронных словарях, которые лишь обеспечивают перевод требуемого слова, а ответственность за выбор нужного значения слова и смысл переведенного текста полностью возлагается на человека [3].

3. Автоматизированный МП при участии человека. В данном случае обычно подразумевают как обработку текста до осуществления перевода машиной,

так и после него. Перед тем как запустить систему МП, люди-переводчики изменяют текст так, чтобы процент понимания текста машиной был наиболее высок (упрощают предложения, проверяют знаки препинания, расставляют знаки диакритики и т.д.). После того как будет получен перевод, люди-переводчики опять корректируют грубый МП, чтобы получить правильный, качественный текст. Экономичность использования МП с помощью человека - вопрос все еще спорный. Программное оборудование достаточно дорого, поддержание баз данных слов в рабочем состоянии – процесс трудоемкий, корректуре предварительных и переведенных текстов необходимо обучаться. [2]. Это только часть проблем, связанных с языковой системой.

Чтобы понять, что может стать причиной не совсем корректного перевода со стороны системы, нужно разобраться в принципах ее работы. Возникают определенные сложности в технической реализации такой программы или сервиса. Можно выделить три основных подхода:

- 1) Статистический машинный перевод.
- 2) Машинный перевод на основе правил.
- 3) Гибридный машинный перевод.

На наш взгляд наибольший интерес представляет статистический МП. Статистический машинный перевод основан на анализе и сравнении больших объемов языковых пар. Языковыми парами являются тексты, которые содержат предложения на одном языке и эквивалентные им предложения на другом [3].

Мы полагаем, что строка английских слов из английской строки **e** может быть переведена в строку русских слов **r** множеством различных способов. Часто знание более широкого контекста, в котором встречается английская строка **e**, может служить для определения более четкой области приемлемых вариантов русских переводов, но даже, если это и так, все равно останется много приемлемых переводов. Выбор среди них - это в значительной степени вопрос вкуса. При статистическом переводе мы полагаем, что каждая русская строка **r**, является возможным переводом английской строки **e**. Мы присваиваем каждой паре строк (**e** ~ **r**) число $Pr(r|e)$, которое мы интерпретируем как вероятность, что переводчик во время появления английской строки **e**, сгенерирует русскую строку **r** как ее перевод. Далее мы полагаем, что, когда носитель русского языка воспроизводит строку русских слов, он фактически сгенерировал строку английских слов, которые он перевел мысленно. Задав русскую строку **r**, задача нашей системы перевода – найти английскую строку **e**, которую имел в виду носитель языка, когда он воспроизводил русскую строку **r**. Мы сводим к минимуму шанс получения ошибки, выбирая ту английскую строку **ê**, для которой $Pr(e|r)$ является самым большим значением [5].

Работая над грантом, мы воспользовались описанием серии пяти статистических моделей процесса перевода и алгоритмами для оценки параметров этих моделей, представленных множеством пар предложений, которые являются переводом одного в другое. Для любой заданной пары таких предложений каждая из моделей присваивает вероятность каждого из возможных пословных выравниваний. Мы изучали алгоритм для поиска самого вероятного из этих выравниваний. Работа велась с английским и французским языками; но алгоритмы работают хорошо и с русским языком, потому что в них содержится минимальное лингвистическое содержание.

В модели 1 мы предполагаем, что все связи для каждой русской позиции одинаково вероятны. Поэтому, порядок слов в английской строке **e** и русской строке **r** не влияет на $\text{Pr}(\mathbf{r}|\mathbf{e})$. В модели 2 мы делаем более реалистичное предположение, что вероятность связи зависит от позиций, которые она соединяет и от длин двух строк. Поэтому, для модели 2 $\text{Pr}(\mathbf{r}|\mathbf{e})$ действительно зависит от порядка слов в английской строке **e** и русской строке **r**. В моделях 3, 4, и 5 мы совершенствуем русскую строку, выбирая для каждого слова в английской строке сначала число слов в русской строке, которые будут связаны с ним, затем тождество этих русских слов, и наконец, фактические позиции в русской строке, которую займут эти слова [5].

Приведем пример общего выравнивания.



Рисунок 1 – Общее выравнивание

Здесь четыре английских слова *don't have any money* работают совместно для получения двух русских слов *нет денег*.

В переносном смысле английский отрывок – это сеть понятий, собранных вместе согласно правилам английской грамматики. Когда мы смотрим на отрывок, мы не можем видеть понятия непосредственно, только слова. Чтобы показать, что эти слова связаны с понятием, мы говорим, что они формируют понятие. Некоторые слова в отрывке могут формировать более чем одно понятие, в то время как другие не могут сформировать ни одного, выступая в роли синтаксического связующего элемента для связи целого. При переводе отрывка на русский язык, каждое из его понятий привносит некоторые русские слова в перевод. Мы называем набор английских слов, связанных с русским словом в определенном выравнивании понятием, которое порождает русское слово. Таким образом, выравнивание разделяет английскую строку на частично совпадающие понятия, которые мы называем понятийной схемой английских строк по отношению к выравниванию. Выравнивание на рисунке 1 содержит три понятия *The*, *poor* и *don't have any money*. Когда одно или более русских слов не связаны ни с одним из английских слов, мы говорим, что понятийная схема включает пустое понятие, и что каждое из этих слов было создано этим пустым понятием. Формальное понятие – это подмножество позиций в английской строке вместе со словами, занимающими эти позиции.

Сегодня, успешное применение статистических методов к исследованию вопросов машинного перевода зависит от вычислительной мощности любого, кто располагает хорошо укомплектованной рабочей станцией. Большие недостатки такого варианта заключаются в большом количестве грамматических ошибок и в нестабильности перевода.

Резюмируя все вышесказанное, можно отметить то, что машинный перевод – это достаточно трудоемкий процесс, как для программиста, так и для

лингвиста. Кроме того, он не может быть решением всех проблем в области перевода. Достаточно высокого качества перевода можно достичь при ограниченной тематической области, учитывая ее специфические слова и словосочетания. Немало зависит и от своевременного расширения базы данных, отбора текстов для последующего анализа системой. Не стоит полагаться на то, что машинный перевод всегда может выдать простой для понимания итоговый текст, чаще всего, особенно при больших объемах, потребуется постредактирование текста. Поэтому сервисы машинного перевода могут помочь человеку, который отлично разбирается в теме и владеет иностранным языком на достаточном уровне. Это может помочь лишь автоматизировать и облегчить процесс, но не полностью решить все вопросы перевода.

Список литературы

1. *Иванов В. В. Некоторые вопросы машинного перевода в СССР // Доклады Конференции по обработке информации, машинному переводу и автоматическому чтению текста. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1961. Вып. 10.*
2. *Марчук Е.Н. Проблемы машинного перевода.- М.: Наука, 1983. 232 с.*
3. *Шумилина М.В., Ясаревская О.Н. Способы повышения эффективности перевода // Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. Гос. Технолог. Ун.-та, 2015. – Вып. 06/(28) – Т.1. – С. 174 – 178.*
4. *Appendix III of «The present status of automatic translation of languages»// Advances in Computers.1960. Vol.1.pp.158-163.*
5. *P. Brown, Vincet J. Della Pietra, Stephen A. Della Pietra, Robert L. Mercer / Computational Linguistics, 1993. – Issue 19(2) – PP. 263-311.*
6. *www.study-english.info*

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки.

Технология продовольственных продуктов.

Информатика, вычислительная техника и управление.



Научный редактор С.Н. Волков
Компьютерная верстка Н. Хлопцовой

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «КОПИ-РИЗО»
Пенза, ул. Московская, 74, к. 211. Тел. 56-25-09.
e-mail: tipograf_porovamg@inbox.ru

Сдано в производство 05.12.2016. Формат 70X108 1/16
Бумага типогр. №1. Печать ризография. Шрифт Times New Roman.
Усл. печ. л. 8,9. Уч. изд. л. 9,3. Заказ № 1091. Тираж 50 экз.

Пензенский государственный технологический университет.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.