

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дагестанский государственный технический университет»

ВЕСТНИК

ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2

Том 33

2014

Журнал основан в 1997 году.
Выходит 4 раза в год

HERALD

of Daghestan state technical university **2014. №2 (33)**

ISSN 2073-6185

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дагестанский государственный технический университет»
ВЕСТНИК

Дагестанского государственного технического университета
№ 2 (Том 33) 2014

Журнал основан в 1997 году	ISSN 2073-6185
<p>Главный редактор – д.т.н., профессор Исмаилов Т.А., ректор ДГТУ;</p> <p>Заместитель главного редактора – д.э.н., доцент Эсетова А.М., заведующая кафедрой ДГТУ</p> <p>Редакционная коллегия: д.т.н., профессор Абакаров А.Д., заведующий кафедрой ДГТУ; д.х.н., профессор Абакаров Г.М., заведующий кафедрой ДГТУ; д.э.н., профессор Абдулгалимов А.М., заведующий кафедрой ДГТУ; д.т.н., профессор Адамов А.П., профессор ДГТУ; д.т.н., член-корр. РААСН Батдалов М.М., профессор ДГТУ; д.ф.-м.н., профессор Билалов Б.А., заместитель заведующего кафедрой ДГТУ; д.т.н., профессор Гусейнов Р.В., профессор ДГТУ; д.э.н., профессор Исалова М.Н., заведующая кафедрой ДГТУ; д.б.н., профессор Исмаилов Э.Ш., профессор ДГТУ; д.т.н., профессор Каргин Н.И., начальник Управления развития перспективных исследований МИФИ; д.т.н., профессор Кутузов В.М., ректор С-Пб.ГЭТУ; д.э.н., профессор Магомедов А.Г., профессор ДГТУ; д.т.н., профессор Мелехин В.Б., заведующий кафедрой ДГТУ; д.ф.-м.н., профессор Митаров Р.Г., заведующий кафедрой ДГТУ; д.э.н., профессор Павлюченко Е.И., проректор по НиИД ДГТУ; д.т.н., профессор Саркаров Т.Э., декан факультета ДГТУ; д.ф.-м.н., член-корр. РАН Сафаралиев Г.К., научный руководитель НИИ «Микроэлектроники и нанотехнологий» ДГТУ; д.т.н., профессор Финаев В.И., заведующий кафедрой Таганрогского ГРТУ; д.э.н., профессор Халимбеков Х.З., декан факультета ДГТУ; д.т.н., профессор Хаджишалапов Г.Н., декан факультета ДГТУ.</p>	<p>Научные направления:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Приборостроение;▪ Полупроводниковые материалы и приборы;▪ Теплофизика;▪ Информационные технологии;▪ Физико-математическое моделирование;▪ Механика и машиностроение;▪ Мелиорация и гидротехнические сооружения;▪ Строительство и архитектура;▪ Новые технологии;▪ Экономика отрасли.
<p>Научно-исследовательский журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР), свидетельство ПИ № ФС77-30186 от 9 ноября 2007 г. Подписной индекс 71366 в федеральном каталоге периодических изданий ОАО Агентства «Роспечать».</p> <p>Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.</p> <p>Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), доступный в интернете, по адресу http://www.elibrary.ru (Научная электронная библиотека).</p>	<p>Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Выпуск 2. Том 33 Махачкала, 2014 – 110с.</p> <p>Издается по решению Ученого Совета ФГБОУ ВПО «ДГТУ»</p>
<p>Адрес редакции: 367015, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВПО «ДГТУ»</p>	<p>Тел./факс (8722)623715 (8722)623964 E-mail: vestnik.dgtu@mail.ru</p>

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 7

Губа А. В., Герейханов Р. К., Магомедов А. М. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ АНАЛОГОВОЕ УСТРОЙСТВО НА УСИЛИТЕЛЯХ С РЕГУЛИРУЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ 7

ТЕПЛОФИЗИКА..... 13

Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Рамазанова Д.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЭА, ВЫПОЛНЕННОЙ НА ОСНОВЕ ПЛАВЯЩИХСЯ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЖИДКОСТНЫМ ТЕПЛООТВОДОМ 13

Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Магомадов Р.А.-М. НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УРОВНЕ СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПЛЕЧА ЧЕЛОВЕКА 20

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ..... 31

Алибеков Г.А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В ЕСТЕСТВЕННОМ РУСЛЕ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ..... 31

Ильясов Э.Э., Амиров А.М. РАСЧЕТ МАТРИЦЫ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 41

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА..... 47

Языев Б.М., Чепурненко А.С., Литвинов С.В., Языев С.Б. РАСЧЁТ ТРЁХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЁТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ СРЕДНЕГО СЛОЯ..... 47

Устарханов О.М., Алибеков М.С., Устарханов Т.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ 56

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 65

Демирова А.Ф., Ахмедов М.Э., Пиняскин В.В., Шихалиев С.С., Загиров Н.Г. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМОВ СТУПЕНЧАТОЙ

ТЕПЛОВОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ «ТОМАТЫ МАРИНОВАННЫЕ» В СТАТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ БАНОК..... 65

***Ахмедова М.М.* ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ КОНСЕРВИРОВАННОГО КОМПОТА ИЗ ГРУШ В ПОТОКЕ НАГРЕТОГО ВОЗДУХА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАГРЕВОМ ПЛОДОВ В ЭМП СВЧ..... 71**

***Абакаров Г.М.* МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСЫ ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩИХ АМИНОВ И АЗОМЕТИНОВ..... 80**

***Хамидова Р.Р.* ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕЧЕБНОГО ПИТАНИЯ В СТАЦИОНАРЕ (БТС-ЛПС)..... 89**

ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ..... 96

***Курбанова И.Т., Гаджиев И.Ц.* ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМОВ ПРИРОСТА ПРОДУКЦИИ И ОКАЗЫВАЕМЫХ УСЛУГ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... 96**

РЕДАКЦИОННЫЙ ОТДЕЛ.....104

НАШИ АВТОРЫ104

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ».....107

CONTENTS

INSTRUMENT-MAKING	7
<i>Guba A. V., Gereykhanov R. K., Magomedov A. M.</i> MULTIFUNCTIONAL ANALOG DEVICE BASED ON AMPLIFIERS WITH REGULATED GAIN.....	7
THERMOPHYSICS	13
<i>Ismailov T.A., Evdulov O.V., Evdulov D.V., Ramazanova D.K.</i> RESEARCH OF PROCESSES OF HEAT TRANSFER IN THE COOLING SYSTEM ELEMENTS REA, MADE ON THE BASIS OF MELTING HEAT ACCUMULATORS WITH ADDITIONAL LIQUID HEAT SINK.....	13
<i>Ismailov T.A., Evdulov O.V., Magomadov R.A.-M</i> FIELD TESTS OF THE PROTOTYPE OF THERMOELECTRIC SYSTEM FOR THERMAL INFLUENCE ON THE LEVEL OF THE MIDDLE THIRD OF THE SHOULDER OF THE MAN	20
PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING	31
<i>Alibekov G.A.</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE MAXIMUM LENGTH OF HYDRAULIC CHANNEL IN A NATURAL WATER-COURSE VIA COMPUTERS.....	31
<i>Ilyasov E.E., Amirov A.M.</i> CALCULATION OF MATRIX CORRESPONDENCE WITH THE USE OF PARALLEL COMPUTING TECHNOLOGIES	41
BUILDING AND ARCHITECTURE	47
<i>Yazyev B.M., Chepurnenko A.S., Litvinov S.V., Yazyev S.B.</i> CALCULATION OF THE THREE-LAYER PLATE BY THE METHOD OF FINAL ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT CREEP OF THE CENTRE.....	47
<i>Ustarkhanov O.M., Alibekov M.S., Ustarkhanov T.O.</i> RESEARCH OF PARAMETERS PRISMATIC PLACEHOLDER WITH THE STATIC LOADING	56

ADVANCED TECHNOLOGIES	65
<i>Demirova A.F., Akhmedov M.E, Pinyskin V.V., Shikhaliyev S. S., Zagirov N.G.</i> THE EFFECTIVENESS OF SPEED MODES OF THERMAL STERILIZATION OF CANNED FOOD «TOMATOES MARINADED» IN A STATIC STATE CANS.....	65
<i>Akhmedova M.M.</i> HIGH-TEMPERATURE STERILIZATION OF TINNED COMPOTE FROM PEARS IN THE STREAM OF HEATED AIR WITH PRELIMINARY HEATING OF FRUITS IN EMP OF THE MICROWAVE OVEN.....	71
<i>Abakarov G.M.</i> METALCOMPLEXES OF TELLURIUM-CONTAINING AMINES AND AZOMETINES	80
<i>Hamidova R.R.</i> BIOTECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM OF CLINICAL NUTRITION IN HOSPITAL	89
ECONOMIC OF INDUSTRY	96
<i>Kurbanova I.T., Gadzhiev I.C.</i> ESTIMATION AND OPTIMIZATION OF THE VOLUMES OF THE INCREASE TO PRODUCT AND RENDERED SERVICES IN PROGRESS SMALL ENTERPRISE	96
EDITORIAL SECTION.....	104
OUR AUTHORS	104
REQUIREMENTS TO THE ARTICLES OFFERED FOR PUBLICATION IN THE JOURNAL «HERALD OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICALSCIENCES».....	107

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.3.072.2

Губа А. В., Герейханов Р. К., Магомедов А. М.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ АНАЛОГОВОЕ УСТРОЙСТВО НА УСИЛИТЕЛЯХ С РЕГУЛИРУЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

Guba A. V., Gereykhonov R. K., Magomedov A. M.

MULTIFUNCTIONAL ANALOG DEVICE BASED ON AMPLIFIERS WITH REGULATED GAIN

В материалах статьи предлагается вниманию аналоговое устройство, способное выполнять ряд функций в широком диапазоне частот. Приводятся рекомендации по возможным практическим применениям.

Ключевые слова: усилитель с регулируемым коэффициентом усиления, гетеродин, усилитель промежуточной частоты, электронный регулятор напряжения

In this article analog device capable to make portion of different functions in wide frequency band is discussed. Some recommendations for possible application examples are offered.

Key words: variable gain amplifier, heterodyne, intermediate frequency amplifier, electronic voltage regulator

Введение

Среди многообразия аналоговых компонентов и функциональных узлов особое место занимают усилители с регулируемым коэффициентом усиления. Структура и принципы функционирования таких усилителей достаточно полно описаны в [1,2], поэтому обобщим лишь их характерные особенности.

По своей структуре и ряду параметров эти усилители подобны операционным усилителям среднего класса точности, но основное отличие заключается в способе установки требуемых значений коэффициентов усиления. В операционных усилителях текущее значение коэффициента усиления определяется параметрами внешних элементов в цепях обратных связей, а при необходимости его изменения требуется включение элементов с иными параметрами. В усилителях же с регулируемым коэффициентом усиления значение коэффициента устанавливается при помощи пост-

янного напряжения или при помощи цифрового кода, подаваемых на специализированные входы усилителя.

Усилители с управляемым коэффициентом усиления посредством напряжения классифицируются как VGA –типа (Variable Gain Amplifier), а посредством цифрового кода, как PGA (Programmable Gain Amplifier) усилители.

Обладая практически идентичными параметрами усилительных трактов, но разными способами регулирования коэффициентом усиления, VGA и PGA усилители могут быть использованы как в аналоговых схемах, так и в схемах комбинированного типа, т.е. содержащих аналоговые и цифровые компоненты и функциональные узлы.

Естественно, в комбинированных схемах более целесообразно применение усилителей PGA-типа. Тем не менее, возможно использование и усилителей VGA-типа, но такое применение потребует дополнительных затрат в виде АЦП и ЦАП. При этом наиболее оптимальным решением представляется включение в контур управления усилителем микроконвертера (аналогового микроконтроллера), в состав которого входят указанные узлы. Очевидно, что преимуществом такого решения является возможность регулирования коэффициента усиления усилителя по разным алгоритмам в соответствии с требуемыми законами изменения.

Многие усилители имеют два режима установления основных пределов регулирования коэффициента усиления. Сами режимы определяются состоянием участка цепи внутренней обратной связи усилителя (Feedback short, Feedback open), т.е. замкнутым или разомкнутым, а состояния устанавливаются путем внешней коммутации соответствующих цепей усилителя. Одному из режимов, как правило, соответствуют пределы регулирования коэффициента усиления от -14db до +34db, а другому режиму от 0db до +48db включительно.

Для пояснения процесса регулирования коэффициентами усиления на рисунке 1 приведены передаточные характеристики обоих режимов усилителя VGA-типа (компонент AD605) [3].

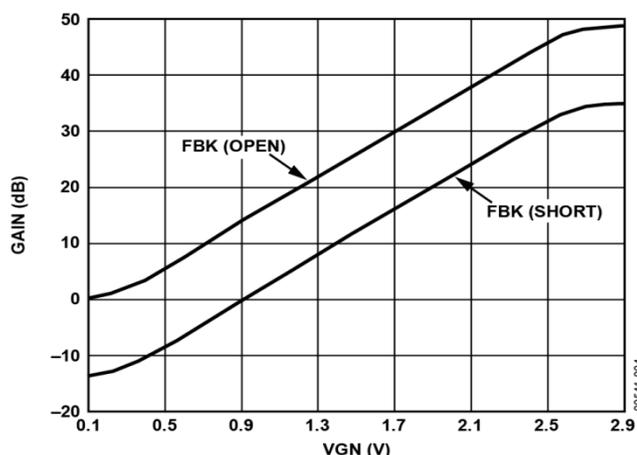


Рисунок 1 - Передаточные характеристики усилителя AD605

Как следует из рисунка 1, характеристики, представляющие собой зависимости значений коэффициентов усиления (Gain, db) от величины напряжения управления (VGN, V), обладают высокой линейностью, что существенно облегчает автоматизацию процесса установления требуемых коэффициентов усиления.

Большинство усилителей, по сути, являются усилителями постоянного тока, но обладают довольно высокой граничной частотой единичного коэффициента усиления. У относительно «низкочастотных» усилителей граничная частота составляет 30МГц (компонент AD603), а у более «высокочастотных» (компонент AD8370) достигает 700МГц.

Наличие двух режимов и достаточно больших пределов регулирования коэффициента усиления, а также значительная граничная частота усилителей способствуют их использованию в разнообразных усилительных устройствах, и в значительной мере упрощает процесс схемотехнического проектирования.

Некоторые сложности для ряда практических применений отдельных компонентов обусловлены наличием у них низкого входного импеданса (50 Ом), что легко устранимо путем буферизации усилителя по входу любым из известных способов.

Усилители с регулируемым коэффициентом усиления удобно использовать не только по прямому назначению, т.е. для усиления напряжений входных сигналов, но и для обеспечения стабильности напряжения этих сигналов на выходе усилителя в требуемом диапазоне частот.

Варианты практического использования усилителей в разных изделиях и ряд рекомендаций по их применениям приводились ранее в [4,5]. Однако появление компонентов с большей степенью интеграции на кристалле и лучшими параметрами позволили не только упростить схемотехнические решения и в значительной мере улучшить качественные показатели устройств, но и существенно расширить их функциональные возможности.

Примером такого многофункционального устройства, разработанного в исследовательском центре «Современные электронные элементы и технологии» ДГТУ, может служить схема электрическая, представленная на рисунке 2.

Для полноты восприятия и иллюстрации возможного варианта буферизации схема устройства дополнена диапазонным генератором гармонических колебаний (блок 1) на транзисторе VT1 (индуктивная трехточка), и особенностей не имеет.

Истоковый повторитель на транзисторе VT2 является промежуточным каскадом, предназначенным для буферизации выхода генератора с входом устройства. Напряжение питания генератора и буферного каскада величиной +3В обеспечивается стабилизированным источником DA1.

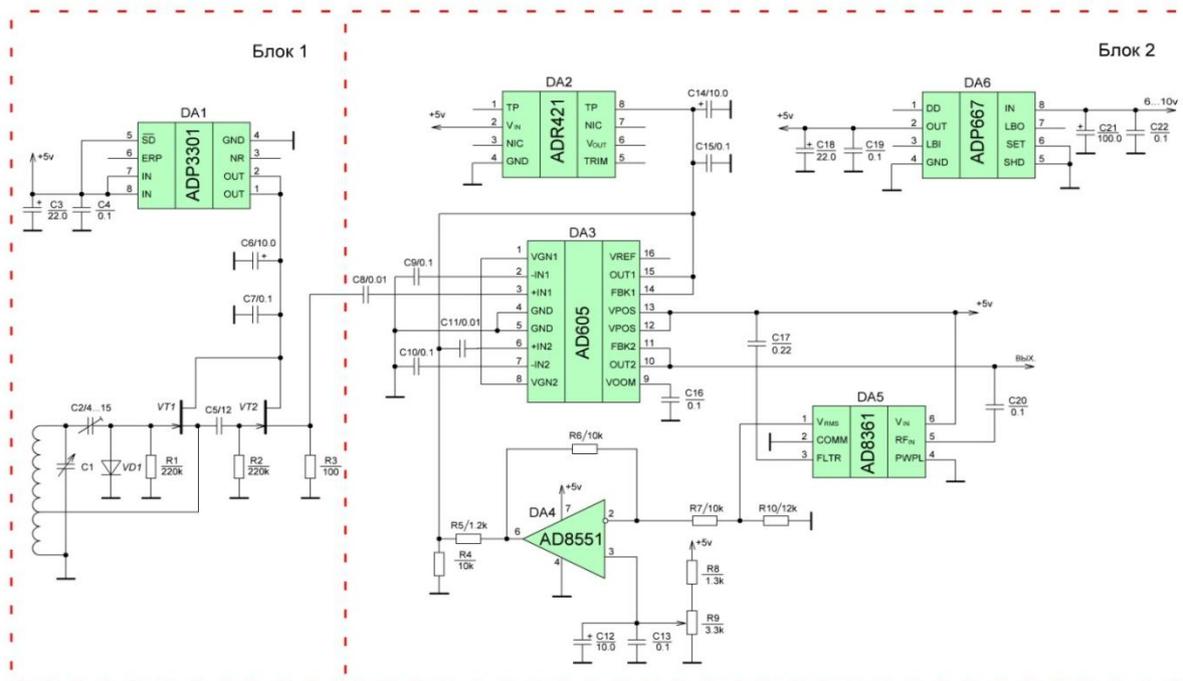


Рисунок 2 - Схема многофункционального устройства и диапазонного генератора

Блок 1 – диапазонный генератор; блок 2 - многофункциональное устройство

Основой многофункционального аналогового устройства (блок 2) является усилитель DA3 (компонент AD605), представляющий собой два идентичных автономных усилителя VGA типа с граничной частотой 40 МГц, конструктивно размещенных в одном корпусе. Общими для этих усилителей являются входы VREF (вывод 16) и VCOM (вывод 9). Каждый из усилителей компонента имеет дифференциальный вход и линейный выход. Возможно последовательное включение усилителей, как с отдельным, так и с параллельным регулированием коэффициентов усиления по входам VGN1 и VGN2 (вывод 1 и вывод 8). Для работы усилителей требуется опорное напряжение величиной 2,5В от внешнего опорного источника DA2 (компонент ADR421), подводимое к входу VREF.

В электрической схеме использовано последовательное включение усилителей с параллельным способом регулирования коэффициентами усиления. Пределы регулирования коэффициентами усиления для каждого усилителя равны от -14db до +34db, что в совокупности позволяет изменять коэффициенты усиления в пределах от -28db до +68 db. Такой режим изменения определяется замкнутым состоянием цепей обратных связей усилителей VOUT и FBK (выводы 10 и 11, а также выводы 14 и 15).

К выходу усилителя подключен амплитудный детектор (компонент AD8361), обладающий высокой линейностью детекторной характеристики и большим коэффициентом передачи, равным 7,7 в полосе рабочих частот до 1ГГц. Амплитудный детектор располагает встроенным фильтром, одна-

ко для более эффективной фильтрации в области относительно низких частот в состав детектора введен дополнительный конденсатор фильтра С17.

В цепи отрицательной обратной связи применен операционный усилитель DA4 формата Rail-to-Rail I/O (компонент AD8551) по инвертирующей схеме включения, коэффициент усиления которого определяется сопротивлениями резисторов R6 и R7, и в данном применении равен 1. При этом величина напряжения, определяющего требуемые значения коэффициентов усиления усилителей DA3, устанавливается потенциометром R9.

Стабильное напряжение питания устройства величиной +5В обеспечивается стабилизатором DA6 (компонент ADP667), включенным по упрощенной схеме.

Такое схемное решение позволяет не только выполнить усиление амплитуды входного сигнала, но и обеспечить ее достаточно высокую стабильность на выходе устройства, что было подтверждено проведенными тестовыми испытаниями. В частности, изменение амплитуды выходного напряжения величиной 1В и частотой 15 МГц не превысило 2мВ в течение 10 часов непрерывной работы. При этом стоимость всех интегральных компонентов в составе устройства не превышает 23\$ [6]. Затраты можно несколько уменьшить, исключив из схемы источник опорного напряжения DA2, путем замены на соответствующий резистивный делитель напряжения. Однако такая замена приведет к некоторому ухудшению параметров.

Схема на рисунке 2 на практике может быть рекомендована в качестве гетеродина как радиовещательных, так и специализированных радиоприемных устройства, а также и для ряда других применений. При необходимости увеличения числа диапазонов гетеродина дополнительными узлами будут являться колебательные контуры, подключаемые к входной цепи генератора, коммутация которых осуществляется любыми доступными способами.

Другим привлекательным применением устройства является его использование в качестве электронного регулятора амплитуды выходного напряжения. С учетом присущих пределов изменения коэффициентов усиления (-14db ... +34db), позволяющих не только увеличивать, но и ослаблять амплитуду напряжения на выходе устройства относительно амплитуды, подводимой к входу, в ряде решений можно обеспечить регулирование амплитуды напряжения от некоторого минимального значения, приближающегося практически к нулевой величине. К тому же, регулирующий элемент (потенциометр R9) включен вне усилительного тракта и не оказывает шунтирующего воздействия на нагрузку устройства.

На этом не ограничиваются области применения устройства. При незначительной схемной модификации устройство способно выполнять и другие функции. К примеру, если из схемы на рисунке 2 удалить диапазонный генератор, поменяв его на полосовой фильтр (фильтр сосредоточенной селекции, пьезоэлектрический, активный фильтр и т.п.) с требуе-

мой полосой пропускания, устройство можно использовать в качестве усилителя промежуточной частоты радиоприемного устройства. При этом, низкочастотная составляющая модулированного сигнала может быть выделена на выходе амплитудного детектора AD8361 (вывод 1) с учетом допустимой коррекции емкости конденсатора фильтра C17.

Так как эффект усиления в радиоприемном устройстве обеспечивается в основном за счет усилителя промежуточной частоты, целесообразно и изменить пределы регулирования коэффициентом усиления, что достигается путем размыкания электрических связей у компонента AD605 между выводами 10 и 11, а также 14 и 15. При таком включении возможно регулирование коэффициента усиления усилителя в пределах от 0db до 96db. А для повышения избирательности по соседнему каналу желательно ввести в схему дополнительный фильтр, подключив его между выходом OUT1 (вывод 15) и входом второго усилителя +IN2 (вывод 6).

В качестве другого примера следует подключение к входу устройства преселектора [7], а к выходу усилителя AD605 (вывод 15) перестраиваемого колебательного контура, и использование устройства в качестве входного избирательно усилительного тракта радиоприемного устройства.

Более того, рассматриваемое устройство способно выполнять функции предварительного усилителя низкой частоты, а с известными допущениями, и оконечного усилителя, работающего на динамический громкоговоритель.

Вывод. Таким образом, на основе предлагаемого многофункционального аналогового устройства возможна реализация основных (за исключением смесителя) узлов радиоприемного устройства. Все предлагаемые решения прошли практическую апробацию, результаты которой подтвердили ожидаемые высокие технические показатели.

Библиографический список:

1. Walter G. Jung. Op Amp Applications. Copyright © 2002 By Analog Devices Inc, ISBN 0-916550-26-5
2. Линейные схемы. Руководство по проектированию./Под ред. Х. Цумбалена. Техносфера. Москва, 2011. 1128 с.
3. Data sheet for AD605 Dual, Low Noise, Single-Supply Variable Gain Amplifier, Analog Devices, Inc., <http://www.analog.com>
4. Губа А.В., Семиляк А.И., Кишов Р.М. Генератор сигналов специальной формы. //Электронные компоненты, №10,2011
5. Губа А.В. Стабилизация амплитуды напряжения гетеродина радиоприемного устройства. //Электронные компоненты, №4,2008
6. Информация с сайта www.analog.com
7. Губа А.В., Гасанов О.И., Кишов Р.М. Активные фильтры в приемных устройствах радиовещательного диапазона.//Электронные компоненты, №10,2010

ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 681.382

Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Рамазанова Д.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЭА, ВЫПОЛНЕННОЙ НА ОСНОВЕ ПЛАВЯЩИХСЯ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЖИДКОСТНЫМ ТЕПЛООТВОДОМ

Ismailov T.A., Evdulov O.V., Evdulov D.V., Ramazanova D.K.

RESEARCH OF PROCESSES OF HEAT TRANSFER IN THE COOLING SYSTEM ELEMENTS REA, MADE ON THE BASIS OF MELTING HEAT ACCUMULATORS WITH ADDITIONAL LIQUID HEAT SINK

В работе рассмотрена система охлаждения элементов РЭА с повторно-кратковременными тепловыделениями, выполненная на основе плавящихся тепловых аккумуляторов с дополнительным жидкостным теплоотводом. Приведены основные расчетные соотношения для ее теоретического исследования. Представлены зависимости продолжительности стабильной работы элемента РЭА при обеспечении его температурного режима работы исследуемой системой.

***Ключевые слова:** система охлаждения, элемент РЭА, теплообмен, тепловой аккумулятор, плавление, жидкостной теплоотвод, расчетная модель.*

The paper considers the system of cooling elements REA with intermittent by heat, made on the basis of melting heat accumulators with additional liquid heat sink. The basic computational relations for theoretical studies. Presents the dependence of the length of stable work of the REA element in ensuring its temperature conditions of the investigated system.

***Key words:** cooling system, an item of electronic equipment, heat transfer, heat accumulator, melting, liquid heat sink, a calculation model.*

Существует целый ряд радиоэлектронных приборов, подвергающихся периодическим кратковременным тепловым нагрузкам. Для обеспечения их температурных режимов работы могут быть использованы системы

охлаждения, работающие как в непрерывном, так и в прерывном режиме, соответствующем функционированию элемента РЭА (охлаждающий прибор включается и выключается синхронно с объектом воздействия) [1].

При этом, в первом случае очевидным является излишняя трата энергии на поддержание функционирования теплоотводящей системы во время паузы в работе радиоэлемента. Во втором случае может возникнуть ситуация, когда теплоотводящий прибор практически не сможет обеспечить необходимый тепловой режим радиоэлектронного аппарата вследствие теплопоступлений от его нагреваемых элементов к объекту охлаждения. В данных условиях целесообразным является размещение между элементом РЭА и системой охлаждения теплового аккумулятора, способного на какое-то время поддержать температуру радиоэлемента на необходимом уровне, несмотря на теплопритоки через ветви конструкции теплоотводящего прибора.

При охлаждении и термостабилизации РЭА, работающей в режиме повторно-кратковременных тепловыделений, пассивными методами, основанными на применении тепловых аккумуляторов, целесообразным является использование обратимых процессов плавления сопровождающихся поглощением теплоты на границе раздела твердой и жидкой фаз.

Для надежной работы элемента РЭА в этом случае необходимым является наличие достаточного количества плавящегося рабочего вещества для аккумуляции выделяемого количества теплоты, а также скважности перерыва между включениями аппаратуры, чтобы за это время рабочее вещество успело затвердеть до следующего цикла включения РЭА. При охлаждении радиоэлектронных приборов с небольшим промежутком между рабочими циклами в этом случае возникают некоторые трудности вследствие недостатка времени, необходимого для затвердевания рабочего агента.

В этой ситуации целесообразно применение некоторой системы, позволяющей интенсифицировать процесс затвердевания рабочего агента [2]. В качестве таковой эффективным будет использование средств, основанных на жидкостном методе теплоотвода.

На рис.1 приведен вариант, реализующий принцип совместного применения плавящихся тепловых аккумуляторов и воздушной системы теплоотвода. Здесь элементы РЭА 1 размещаются на двух противоположных торцевых поверхностях тонкостенного металлического контейнера 2, заполненного рабочим веществом 3. В направлении, перпендикулярном размещению элементов РЭА в металлической емкости имеется канал 4, по которому за счет теплообменной системы 5 осуществляется прокачка охлаждающей жидкости.

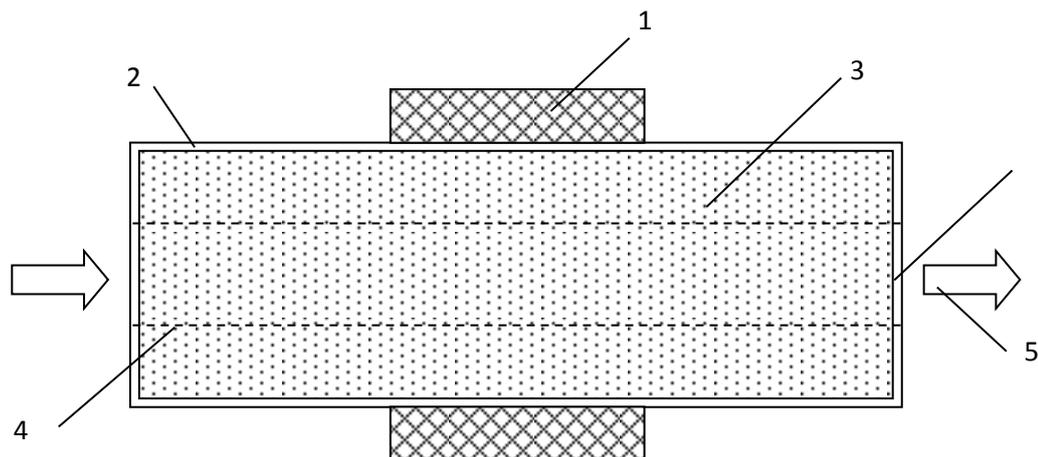


Рисунок 1 - Конструкция устройства для охлаждения элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений, основанная на совместном использовании плавящихся рабочих веществ и жидкостной системы теплоотвода

Математическое моделирование рассмотренной системы охлаждения включает в себя исследование теплофизических процессов при плавлении и затвердевании рабочего агента, а также расчет соответствующего воздушного теплоотвода. Моделирование процессов, связанных с изменением агрегатного состояния рабочего вещества осуществлено путем решения задачи Стефана с использованием метода Л.С. Лейбензона. В результате получены следующие системы уравнений для исследования процессов плавления и затвердевания рабочего агента при наличии и отсутствии конвективных потоков в жидкой фазе вещества:

1. Для случая плавления рабочего вещества при отсутствии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$\frac{dT_{об}}{d\tau} = \frac{1}{(c\rho\delta)_{об}} \left[q_{РЭА} + k_{cp}(T_{cp} - T_{об}) + \frac{\lambda_1}{\xi}(T_{кр} - T_{об}) \right], \quad (1)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\frac{1}{2}c_1\rho_1\xi \frac{dT_{об}}{d\tau} + \frac{\lambda_1}{\xi}(T_{кр} - T_{об})}{c_1\rho_1\left(\frac{1}{2}T_{кр} - T_{об}\right) - c_2\rho_2(T_{кр} - T_{2R0})\frac{\xi - R}{\xi_0 - R} - \rho_2r}. \quad (2)$$

2. Для случая плавления рабочего вещества при наличии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$(c\rho\delta)_{об} \frac{dT_{об}}{d\tau} = q_{РЭА} + \alpha_{cp}(T_{cp} - T_{об}) + \alpha_{кр}(T_1 - T_{об}), \quad (3)$$

$$c_1\rho_1\xi \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha_{об}(T_1 - T_{об}) + \alpha_{кр}(T_{кр} - T_1), \quad (4)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} \left[c_2 \rho_2 \left(\frac{-2 \cdot n(T_{кр} \cdot R - T_{2R0} \cdot R) + \xi(T_{2R0} - T_{кр})}{(n+1)(\xi_0 - R)} \right) + r \rho_2 \right] = \alpha_{кр} (T_1 - T_{кр}). \quad (5)$$

3. Для случая затвердевания рабочего вещества при отсутствии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$\frac{dT_{об}}{d\tau} = \frac{1}{(c\rho\delta)_{об}} \left[\alpha_{ср} (T_{ср} - T_{об}) + \frac{\lambda_2 (T_{кр} - T_{об})}{\xi} \right], \quad (6)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\lambda_2 (T_{кр} - T_{об}) - q_{стж} (R - \xi)}{\rho_1 r - \frac{1}{2} c_2 \rho_2 (T_{об} - T_{кр}) - c_1 \rho_1 (T_{1R0} - T_{кр}) \frac{R - \xi}{\xi_0 - R}}. \quad (7)$$

4. Для случая затвердевания рабочего вещества при наличии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$(c\rho\delta)_{об} \frac{dT_{об}}{d\tau} = \alpha_{ср} (T_{ср} - T_{об}) + \alpha_{кр} (T_1 - T_{об}), \quad (8)$$

$$c_1 \rho_1 \xi \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha_{об} (T_1 - T_{об}) + \alpha_{кр} (T_{кр} - T_1), \quad (9)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} \left[c_2 \rho_2 \left(\frac{-2 \cdot n(T_{кр} \cdot R - T_{2R0} \cdot R) + \xi(T_{2R0} - T_{кр})}{(n+1)(\xi_0 - R)} \right) + r \rho_1 \right] = \alpha_{кр} (T_1 - T_{кр}) - q_{стж}. \quad (10)$$

В соотношениях (1)-(10) c_i, ρ_i, λ_i - теплоемкость, плотность и теплопроводность жидкой и твердой фазы рабочего агента, где индекс 1 соответствует жидкой фазе, а индекс 2 – твердой фазе рабочего вещества; τ - время; $q_{РЭА}$ - количество теплоты, выделяемое элементом РЭА в единицу времени и приходящееся на единицу площади торцевой грани емкости с тепловым аккумулятором; $\alpha_{ср}$ - коэффициент теплоотдачи в окружающую среду $T_{об}$ - среднemasсовая температура металлической оболочки устройства; $T_{ср}$ - температура окружающей среды; r - теплота плавления рабочего вещества; R - толщина слоя рабочего вещества; ξ - граница раздела фаз; $\alpha_{об}, \alpha_{кр}$ - соответственно коэффициенты теплоотдачи от оболочки к жидкости и от поверхности раздела фаз к жидкости; T_1 - средняя температура жидкой фазы; τ_0, ξ_0 - время и толщина расплава, при которых начинается интенсивное движение конвективных токов и поле температур по жидкой фазе практически исчезает; T_{2R}, T_{2R0} - соответственно температуры при $x=R$ в любой момент времени τ и при $\tau = \tau_0, \xi_0$ – толщина расплава при $\tau = \tau_0$; τ_0 – время, при котором начинает наблюдаться линейное изменение температуры T_{2R} от времени; n - параметр, определяемые экспериментально; $q_{стж}$ - количество теплоты, отводимое в единицу времени системой теплоотвода и приходящееся на единицу площади торцевой грани емкости с тепловым аккумулятором.

Расчетная величина $q_{стж}$ в данном случае определяется из выражения:

$$q_{стж} = \alpha_{стж} (T_2|_{x=R} - T_{ж}), \quad (11)$$

где $T_{ж}$ - среднemasсовая температура протекающей в канале жидкости, $\alpha_{стж}$ - коэффициент теплоотдачи к жидкости.

При вязкостном режиме в трубах ($Re < 2300$) средние коэффициенты теплоотдачи к жидкости могут быть определены по уравнению [3]

$$Nu = 1,55 \left(\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right)^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_c}{\mu_{ж}} \right)^{-0,14} \phi_{\ell}, \quad (12)$$

справедливому при $\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \leq 0,05$ и $0,07 \leq \frac{\mu_c}{\mu_{ж}} \leq 1500$ ($\mu_c, \mu_{ж}$ - вязкость среды и жидкости, ℓ - длина трубы, по которой течет жидкость, d - определяющий параметр).

Здесь ϕ_{ℓ} - поправка на гидродинамический начальный участок, Re – число Пекле. Если в начале трубы имеется необогреваемый успокоительный участок, обеспечивающий на входе обогреваемой части развитый параболический профиль скорости, то $\phi_{\ell} = 1$. При однородном распределении скорости на входе и $\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \leq 0,1$

$$\phi_{\ell} = 0,6 \left(\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right)^{\frac{1}{7}} \left(1 + 2,5 \frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right). \quad (13)$$

В уравнениях (12) и (13) определяющим размером, вводимым в числа Re , Pe и Nu , является внутренний диаметр трубы.

При вязкостно-гравитационном режиме течения жидкости при расчете теплоотдачи применяется уравнение подобия, имеющее вид:

$$Nu = 0,35 \left(Pe \frac{\ell}{d} \right)^{0,3} \left(Gr Pr \frac{\ell}{d} \right)^{0,18}. \quad (14)$$

При турбулентном режиме ($Re > 10^4$) для расчета теплоотдачи в прямых гладких трубах с $\frac{\ell}{d} \geq 50$ используется уравнение:

$$Nu = 0,023 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}. \quad (15)$$

Здесь за определяющую температуру принята средняя температура жидкости, а за определяющий размер - внутренний диаметр трубы. Число Pr_c выбирается при средней температуре поверхности стенки.

При переходном течении ($2,3 \cdot 10^3 < Re < 10^4$) теплоотдача зависит от очень большого количества факторов, трудно поддающихся учету. Расчет теплоотдачи производится непосредственно по опытным данным, полученным в условиях, близких к расчетным. При выборе расчетного соотно-

шения для среднего коэффициента теплоотдачи можно воспользоваться следующим уравнением:

$$Nu = 0,116 \left(Re^{\frac{2}{3}} - 125 \right) Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_c}{\mu_{жс}} \right)^{-0,14} \left[1 + \left(\frac{d}{\ell} \right)^{\frac{2}{3}} \right]. \quad (16)$$

Уравнение (16) учитывает влияние длины канала, без изломов переходит в зависимость для турбулентного течения при $Re > 10^4$ и, наконец, правильно отражает характер кривой $Nu = f(Re)$ при переходном течении, для которого по мере роста Re влияние этого числа ослабевает.

В качестве результатов расчетов по рассмотренным соотношениям получены значения продолжительности полного плавления и затвердевания наполнителей, соответствующие длительности стабильной работы элемента РЭА.

На рис.2 представлены графики зависимости продолжительности полного плавления различных наполнителей от величины мощности рассеяния элемента РЭА. Здесь наибольшую продолжительность плавления в диапазоне мощностей от 1000 до 5000 Вт/м² имеет азотнокислый никель, что объясняется его более высокой температурой и теплотой плавления, а также величиной коэффициента теплопроводности.

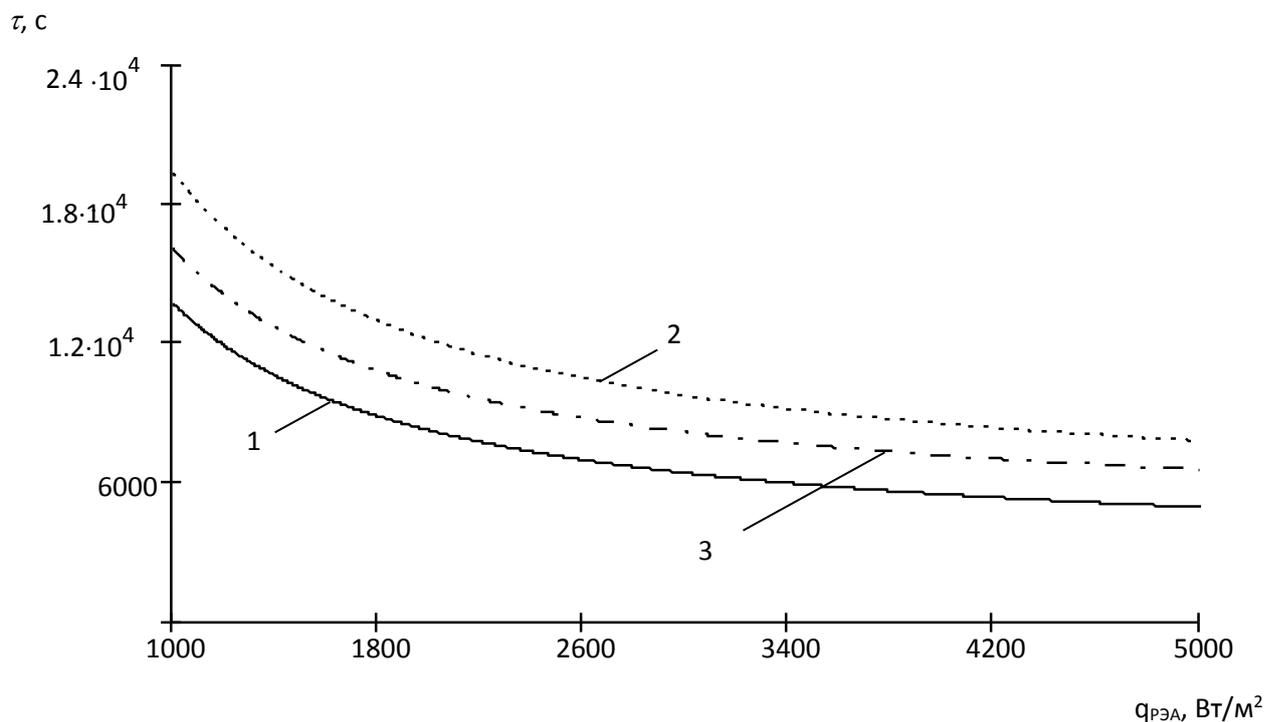


Рисунок 2 - Зависимость времени полного плавления различных тепловых аккумуляторов от мощности тепловыделений элемента РЭА, приходящихся на единицу площади без конвекции в жидкой фазе, $(\text{ср}\delta)_{\text{ог}} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $R = 0,03 \text{ м}$.

1 – парафин, 2 – азотнокислый никель, 3 – элаидиновая кислота

Для случая применения в качестве рабочего вещества азотнокислого никеля, температура оболочки устройства наиболее стабильная, а скорость плавления наименьшая. Это связано, прежде всего, с его более высокой теплопроводностью, которая почти в 2 раза больше, чем у парафина и в 3 раза больше, чем у элаидиновой кислоты.

Таким образом, снижение скорости роста температуры (т. е. ее стабилизации) можно достичь за счет увеличения эффективной теплопроводности вещества. Одним из методов увеличения эффективной теплопроводности вещества является применение различных наполнителей. Так, например, могут быть использованы металлическая крошка, различного рода оребрение, сотовые конструкции, либо пористые структуры.

Данное обстоятельство также справедливо и для случая затвердевания рабочего вещества, что иллюстрируется рис.3.

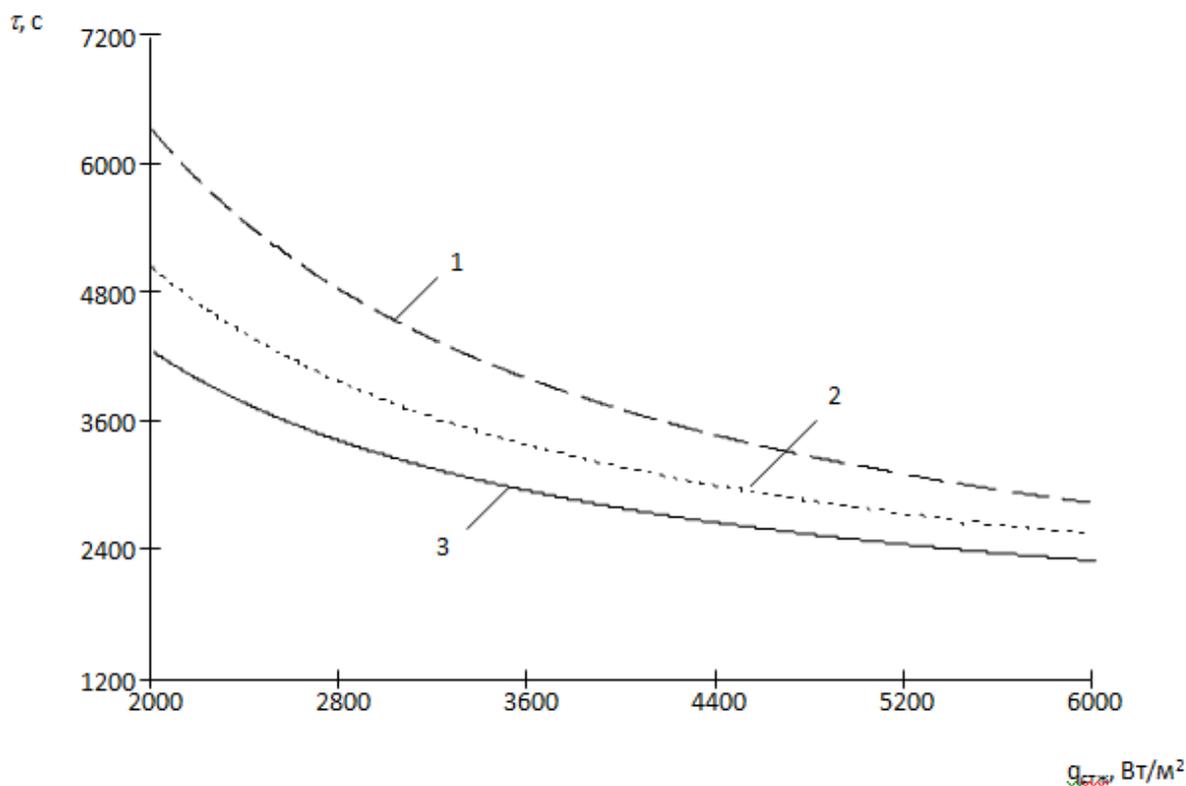


Рисунок 3 - Зависимость времени полного затвердевания рабочего вещества при использовании дополнительного жидкостного теплосъема, $(ср\delta)_{об} = 2,5 \cdot 10^3$ Дж/(м²·К), R = 0,025 м

1 – парафин, 2 – элаидиновая кислота, 3 – азотнокислый никель

Время остывания рабочего вещества и оболочки устройства при использовании дополнительного теплосъема значительно меньше их времени остывания при естественном теплообмене с окружающей средой (для парафина это отношение при жидкостном теплосъеме с $q_{стж} = 3150$ Вт/м², что

соответствует $\alpha_{\text{стж}}=61 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$ и $\alpha_{\text{ср}}=1,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ составило 4 раза). Отсюда следует, что существующие ограничения в отношении времени цикла работы элемента РЭА и времени перерыва между его включениями, при использовании дополнительной теплоотводящей системы снижаются.

Таким образом, если в случае естественного теплообмена оболочки охлаждающего устройства с окружающей средой период работы элемента РЭА должен был бы быть значительно меньше «паузы», то при использовании дополнительного теплосъема, время между двумя последовательными циклами работы РЭА может быть в значительной мере уменьшено.

Библиографический список:

1. Алексеев В.А., Чукин В.Ф., Шишанов А.В. Прогнозирование теплового режима бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Схемотехника, 2004. - №2.
2. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Махмудова М.М., Евдулов Д.В. Исследование системы охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений // Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2008. - №4.
3. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1976.

УДК 681.382

Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Магоматов Р.А.-М.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УРОВНЕ СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПЛЕЧА ЧЕЛОВЕКА

Ismailov T.A., Evdulov O.V., Magomadov R.A.-M

FIELD TESTS OF THE PROTOTYPE OF THERMOELECTRIC SYSTEM FOR THERMAL INFLUENCE ON THE LEVEL OF THE MIDDLE THIRD OF THE SHOULDER OF THE MAN

В работе рассмотрены результаты натурных испытаний опытного образца термоэлектрической системы для теплового воздействия на уровне средней трети плеча человека, дающей возможность лечения и

профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата без медикаментозного вмешательства. Приведена конструкция прибора, экспериментального стенда, а также методика проведения натурных испытаний системы. Представлены характеристики опытного образца термоэлектрической системы, снятые с использованием измерительного стенда.

Ключевые слова: *термоэлектрическая система, опытный образец, тепловое воздействие, средняя треть плеча, температура, экспериментальный стенд, натурные испытания.*

In this work the results of field tests of the prototype of thermoelectric system for thermal influence on the level of the middle third of the shoulder of the person, enabling the treatment and prevention of diseases of musculoskeletal system without medical intervention. Given the design of the device, experimental stand, and also a technique of field tests of the system. Presents the characteristics of a prototype thermoelectric systems, recorded using the measuring bench.

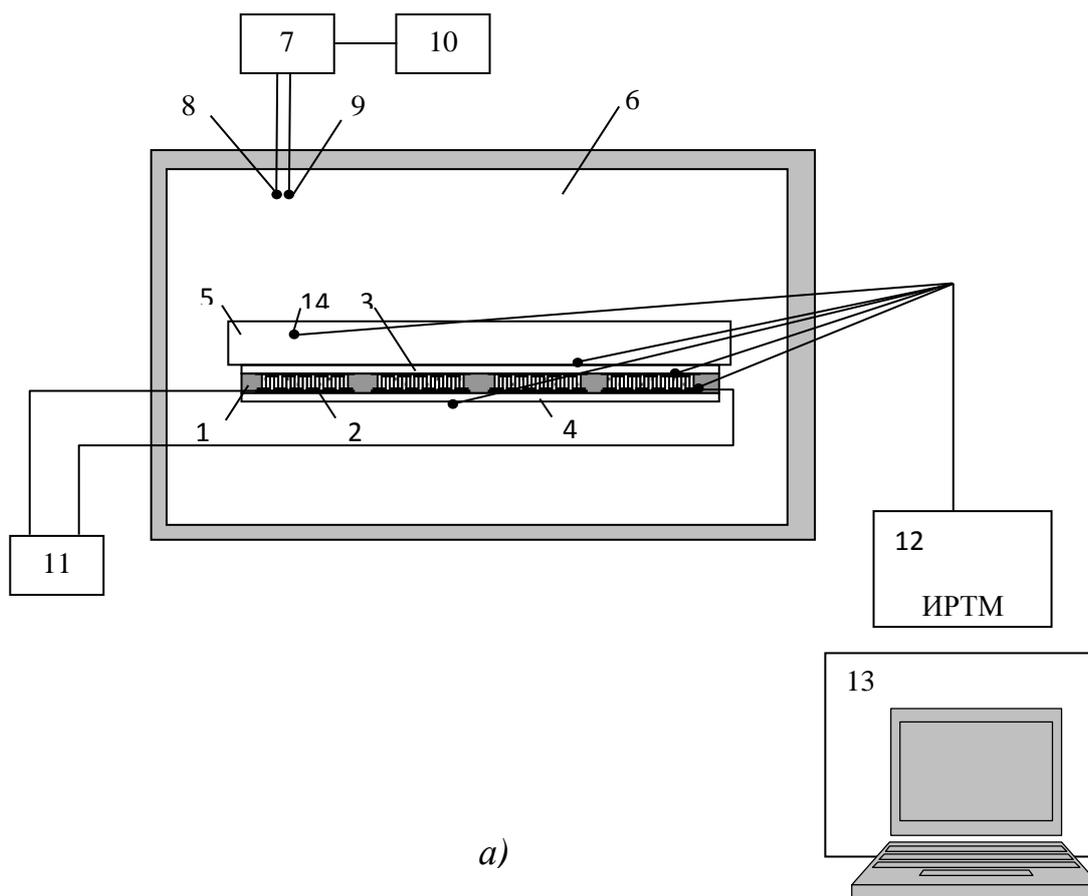
Key words: *thermoelectric system, prototype, thermal influence, the middle third shoulder, temperature, experimental stand, full-scale tests.*

В настоящее время при лечении болезней опорно-двигательного аппарата (воспалительные заболевания суставов, последствия травматических поражений, ревматоидный артрит и т.п.) все большее распространение получают методы, основанные на использовании специальных средств, оказывающих тепловое воздействие на пораженные участки.

Среди существующих методик проведения подобного рода лечебных процедур выделяются ванны постепенно повышаемой температуры (ванны по Гауффе), контрастные ванны, частичные ванны (ручные) и т.д., а также использование различных сред, таких как парафин, озокерит и др. [1, 2]. Недостатками указанных методов физиотерапевтических процедур являются их низкая эффективность и дискомфортность, сложность и неудобство в реализации, недостаточная точность дозировки теплового воздействия.

Для устранения данных недостатков в лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет» разработана термоэлектрическая система (ТЭС) для осуществления лечебного теплового воздействия на отдельные зоны руки человека.

В настоящей работе представлены результаты ее экспериментальных исследований при тепловом воздействии на уровне средней трети плеча человека.



а)



б)

Рисунок 1 - Принципиальная схема, а и внешний вид, б экспериментального стенда для исследования характеристик опытного образца ТЭС для теплового воздействия на отдельные зоны руки человека

Для проведения натуральных испытаний ТЭС собран экспериментальный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис.1, а, а внешний вид – на рис.1, б. Объектом экспериментальных исследований явился опытный образец ТЭС, реализованный в виде конструкции, содержащей гибкое эластичное основание 1 со встроенными в него четырьмя термоэлектрическими модулями (ТЭМ) 2, на спаях которых размещены гибкие металлические тепловыравнивающие пластины 3 (со стороны рабочих спаев) и 4 (со стороны опорных спаев, реализованные отдельно для каждого модуля, выполняющих роль теплоотводов). В качестве биологического объекта использована модель руки человека 5, изготовленная фирмой Nasco, модель LF01121U (США). Геометрические размеры основных составляющих частей опытного образца системы даны в миллиметрах, и приведены на рис.2.

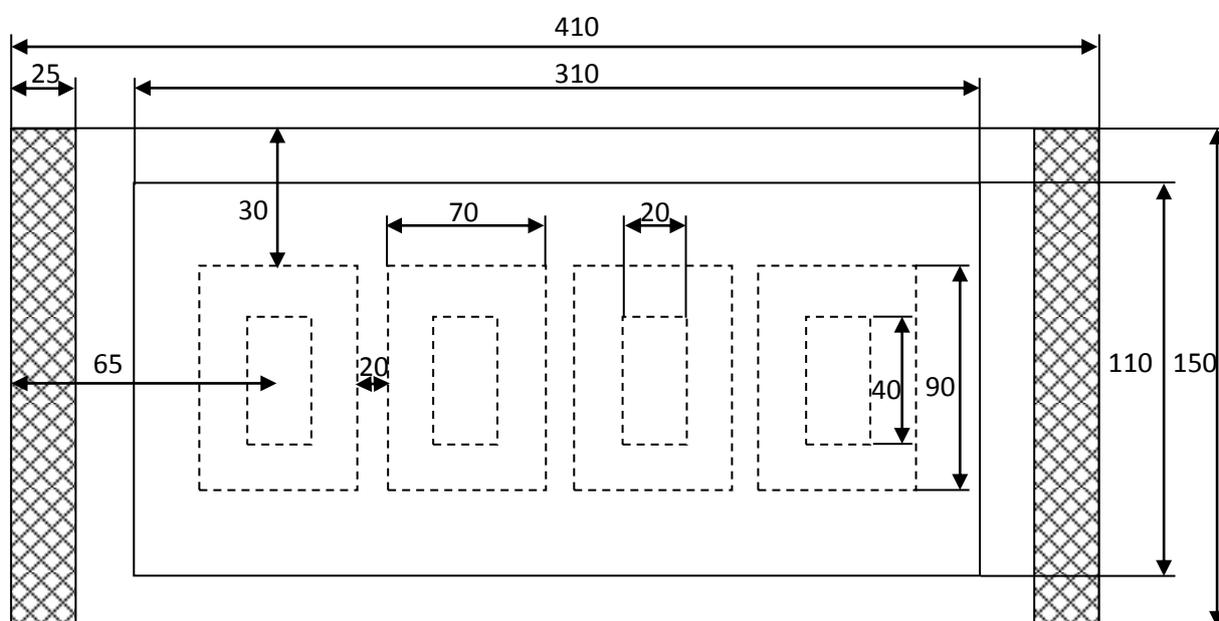


Рисунок 2 - Эскизный рисунок опытного образца ТЭС с основными геометрическими размерами

При натуральных испытаниях опытного образца системы использованы стандартные ТЭМ типа ТВ-63-1.4-2.5 (изготовитель – ИПФ «Криотерм»), основные характеристики которых приведены в [3].

При проведении эксперимента образец ТЭС помещалась в климатическую камеру 6, рабочий объем которой составляет 120 л. Значение температуры и относительной влажности регулируется блоком управления 7, связанным с датчиками температуры и влажности 8 и 9, показания которых выводятся на цифровое табло 10. Питание ТЭМ осуществлялось ис-

точником электрической энергии 11 марки GPR-1850HD. Для проведения измерений использовались встроенные в источник электрической энергии амперметр и вольтметр, а также многоканальный измеритель температуры ИРТМ 2402/МЗ 12, подключенный к ПЭВМ 13.

В ходе эксперимента измерялся протекающий через ТЭМ ток, а также соответствующее падение напряжения, температура окружающей среды, температуры в контрольных точках опытного образца ТЭС. Измерения температуры проводились с использованием медь-константановых термопар 14, опорные спаи которых размещались в сосуде Дьюара, а сигнал поступал на измеритель температуры ИРТМ 2402/МЗ и выводился на ПЭВМ. Термопары размещались на рабочих и опорных спаях ТЭМ, тепловыравнивающих пластинах, а также в контрольных точках модели руки человека и в окружающей среде.

При проведении эксперимента выходные сигналы с термопар поступали на вход измерителя ИРТМ 2402/МЗ, предназначенного для многоканального определения температуры, а также некоторых других неэлектрических величин. Сопряжение ПЭВМ и многоканального измерителя температуры осуществляется за счет наличия в последнем интерфейса RS232 для обмена информацией с ПЭВМ.

Перед выполнением измерений проверялась надежность электрических и тепловых контактов, механическое сопряжение всех основных частей экспериментального стенда, опытного образца ТЭС и модели руки человека. Опыты проводились сериями по четыре эксперимента в идентичных условиях.

На основе разработанного измерительного стенда была проведена серия натуральных испытаний опытного образца ТЭС, позволяющая судить об ее основных параметрах и характеристиках.

Основной задачей при проведении натуральных испытаний опытного образца ТЭС являлось определение зависимостей изменения температуры в различных точках исследуемого объекта во времени при определенных величинах тока питания ТЭБ. Полученные значения сравнивались с теоретическими с соответствующим определением расхождений между экспериментом и расчетными данными.

Технические требования, предъявляемые к прибору при его работе, в процессе эксперимента задавались следующими исходными данными:

- допустимый диапазон температур биологического объекта – $283 \div 318$ К;
- температура окружающей среды – 293 К;
- точность поддержания температуры – 0,5 К.

На рис.3 (а) представлены кривые изменения температуры модели руки человека на уровне средней трети плеча во времени при охлаждающем

и нагревающим воздействием для значений токов питания ТЭМ, равных 2,6 А, 2,9 А, 3,2 А, 3,5 А и 0,5 А, 0,7 А, 0,9 А, 1,1 А.

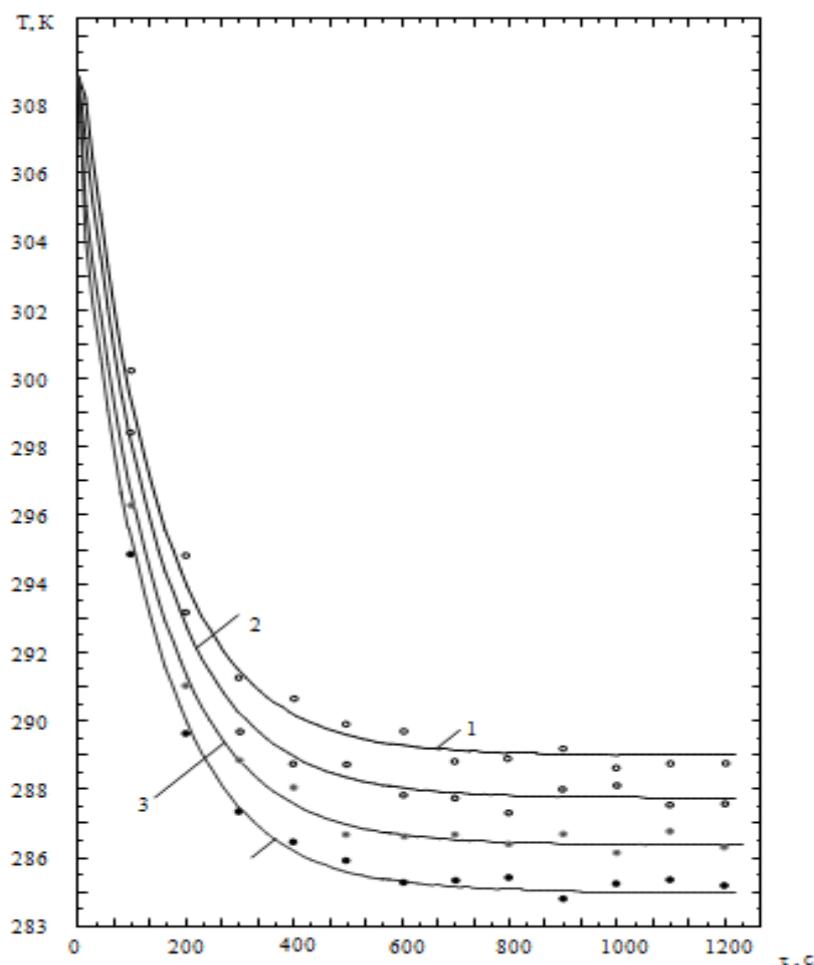


Рисунок 3 - а Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при охлаждающем воздействии для различных значений тока питания ТЭМ

1 – $I = 2,6$ А; 2 – $I = 2,9$ А; 3 – $I = 3,2$ А; 4 – $I = 3,5$ А

Как следует из представленных данных, продолжительность выхода в стационарный режим системы ТЭС – биологического объекта составляет при работе системы в режиме охлаждения и нагрева около 15 мин. При этом увеличение значения тока питания ТЭМ приводит к уменьшению температуры биологического объекта при работе ТЭС в режиме охлаждения и увеличению его температуры при работе ТЭС в режиме нагрева, что соответствует повышению холодо- и теплопроизводительности ТЭМ. При этом, необходимо отметить, что ток питания ТЭС при работе последней, в режиме нагрева существенно меньше (1,1 А), чем в случае ее эксплуатации в режиме охлаждения (3,5 А), что определяется ограничением температу-

ры кожного покрова значением 318 К, соответствующим появлению болевых ощущений от процедуры.

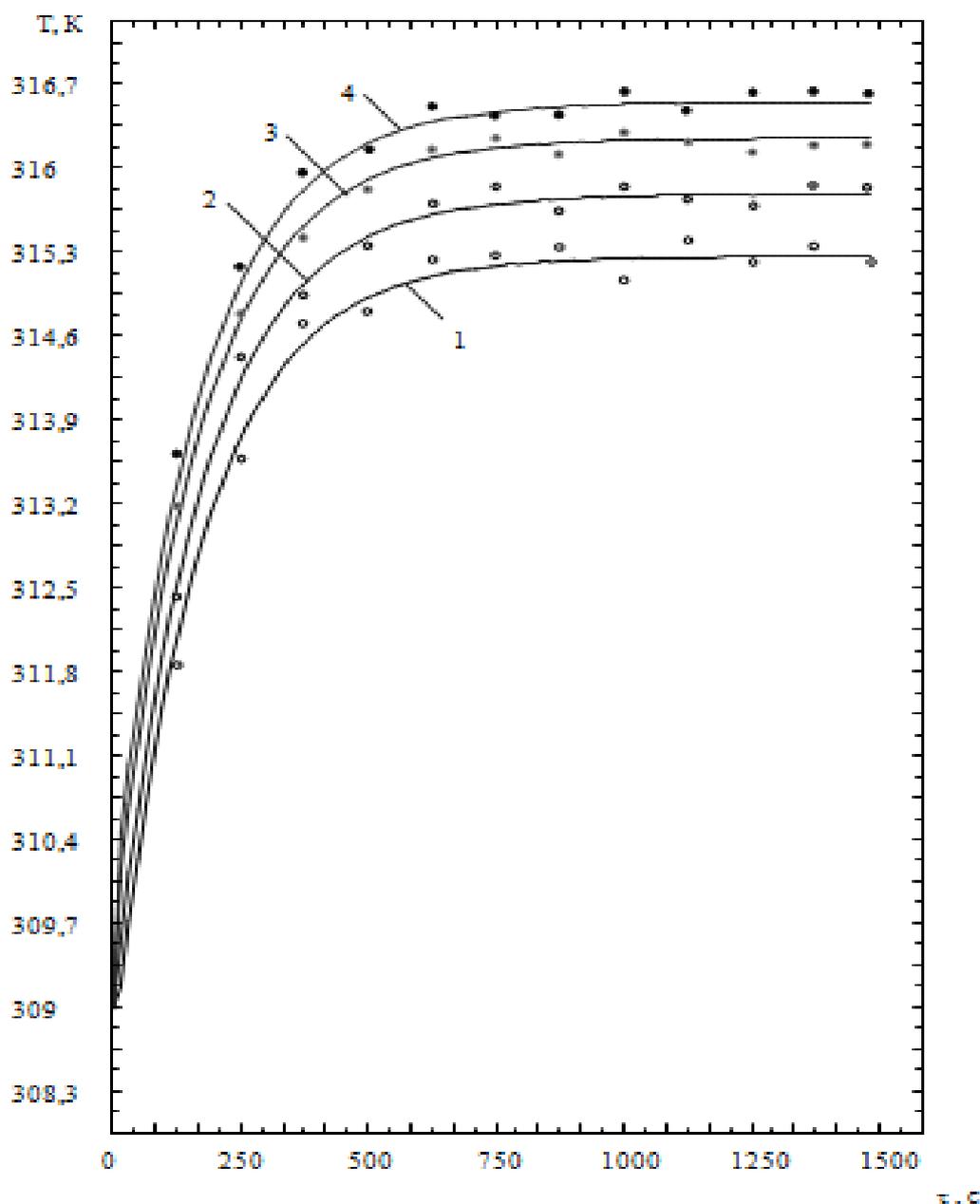


Рисунок 3 - б Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при нагревающем воздействии для различных значений тока питания ТЭБ

1 – I = 0,5 А; 2 – I = 0,7 А; 3 – I = 0,9 А; 4 – I = 1,1 А

При изучении параметров разработанной ТЭС представляет интерес оценка потерь, связанных с конечным значением коэффициента теплопередачи от устройства к биологическому объекту, а также оценка температуры опорных спаев ТЭМ. Для этого получены зависимости изменения во

времени температуры в различных точках исследуемой системы, а именно, непосредственно модели руки человека, холодного и горячего спая ТЭМ при тепловом воздействии на среднюю треть плеча.

Согласно полученным данным разность температур между рабочими спаями ТЭМ и биологическим объектом составляет порядка 3 К. Данные потери складываются из неплотности контакта между моделью руки и спаями ТЭМ, конечной величины коэффициентов теплопроводности элементов системы, а также теплопритоков из окружающей среды. Уменьшить перепад температур между биологическим объектом и спаями ТЭМ можно за счет использования специальной теплопроводной пасты, наносимой на поверхность объекта воздействия, а также уменьшением теплопритоков из окружающей среды за счет хорошей теплоизоляции участка руки, подвергающегося воздействию ТЭС.

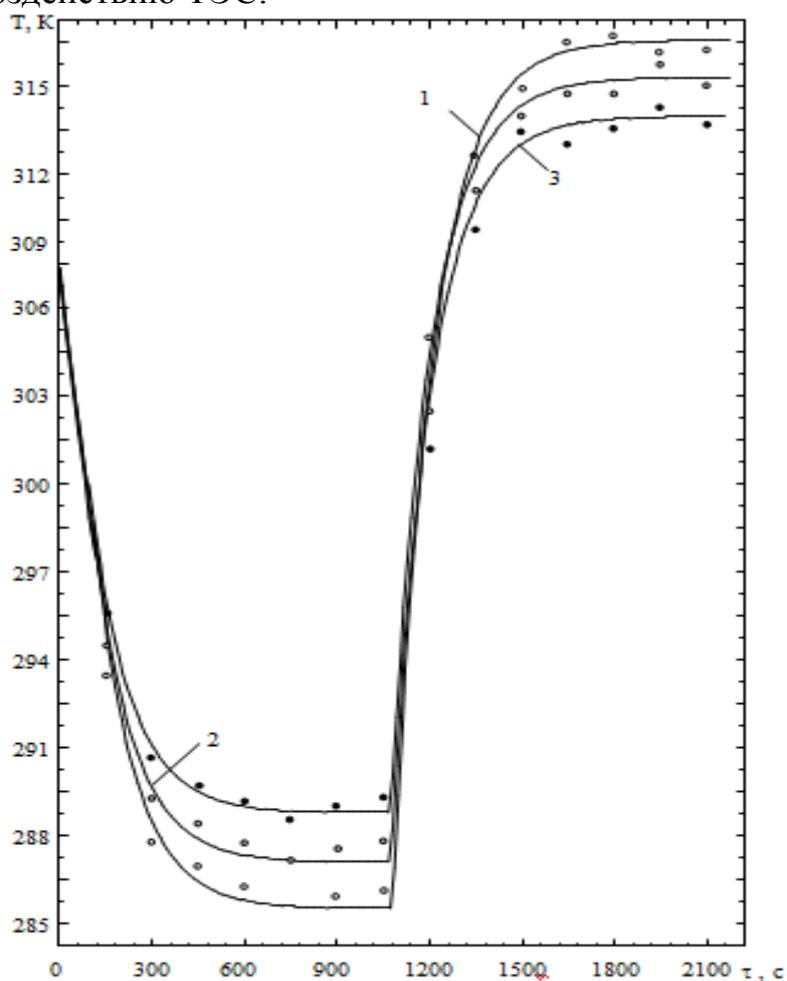


Рисунок 4 - а Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима охлаждения в режим нагрева для различных значений тока питания ТЭБ

$$1 - I_{\text{охл}} = 3,1 \text{ А}, I_{\text{нагр}} = 0,9 \text{ А}; 2 - I_{\text{охл}} = 2,8 \text{ А}, \\ I_{\text{нагр}} = 0,6 \text{ А}; 3 - I_{\text{охл}} = 2,5 \text{ А}, I_{\text{нагр}} = 0,3 \text{ А}$$

Для изучения динамических режимов работы ТЭС получены кривые изменения температуры средней трети плеча человека (на соответствующей модели) во времени при изменении функционирования прибора с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот, приведенные на рис.4.

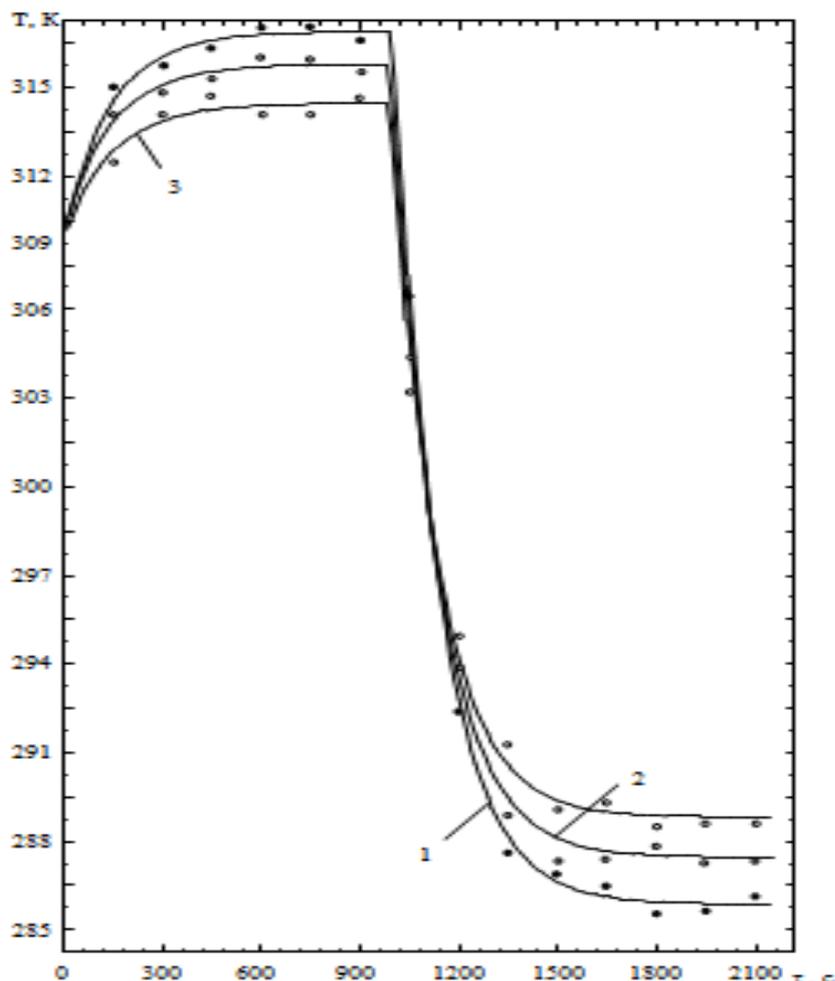


Рисунок 4 - б Изменение температуры модели руки человека (средней трети плеча) во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима нагрева в режим охлаждения для различных значений тока питания ТЭБ

$$1 - I_{\text{охл}} = 3,1 \text{ A}, I_{\text{нагр}} = 0,9 \text{ A}; 2 - I_{\text{охл}} = 2,8 \text{ A}, I_{\text{нагр}} = 0,6 \text{ A}; 3 - I_{\text{охл}} = 2,5 \text{ A}, \\ I_{\text{нагр}} = 0,3 \text{ A}$$

Результаты рассмотрены для режимов: 1 – $I_{\text{охл}} = 3,1 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,9 \text{ A}$; 2 – $I_{\text{охл}} = 2,8 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,6 \text{ A}$; 3 – $I_{\text{охл}} = 2,5 \text{ A}$, $I_{\text{нагр}} = 0,3 \text{ A}$. В обоих случаях продолжительность переходного процесса с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот относительно незначительна и составляет порядка 17 мин. При этом следует отметить, что для ускорения смены режимов воздействия может быть использован кратковременный форсированный режим

работы ТЭМ, состоящий в повышении их тока питания и соответственно значения, холодопроизводительности (теплопроизводительности) в переходном режиме работы прибора.

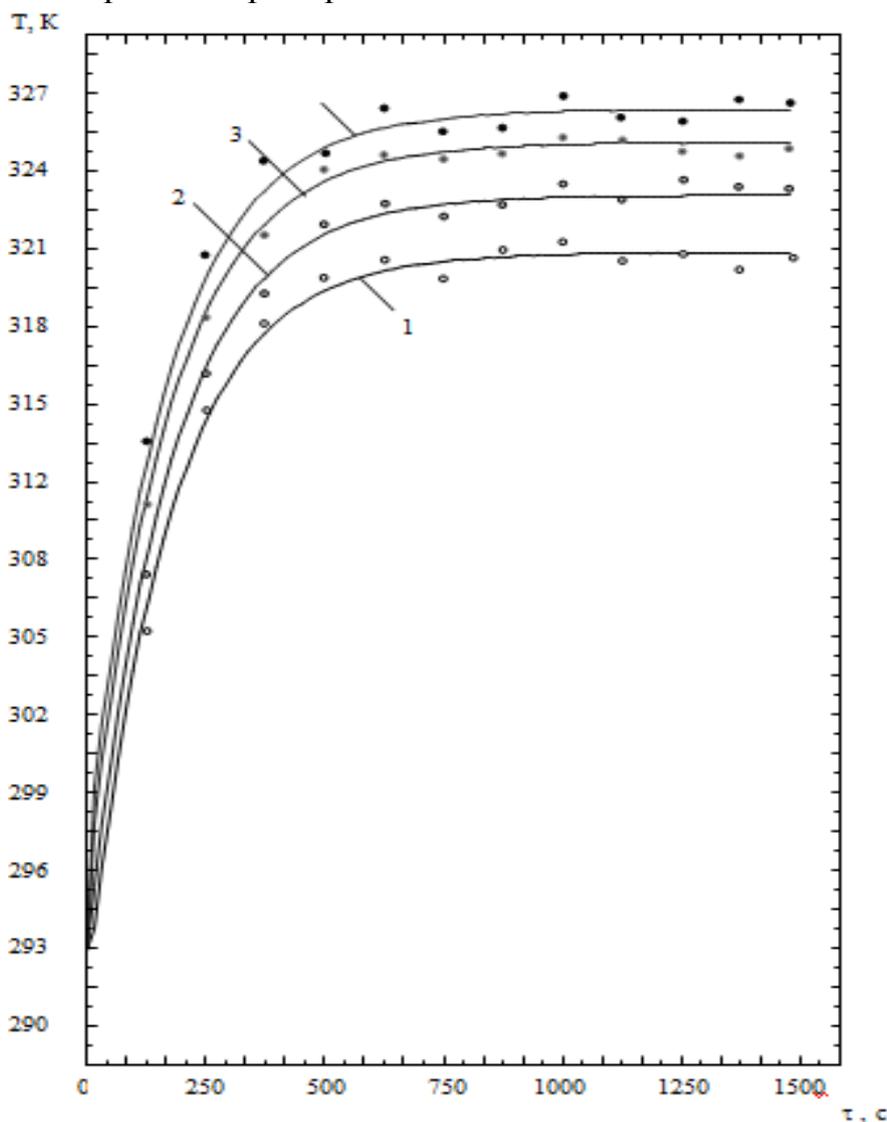


Рисунок 5 - Изменение температуры теплоотводов ТЭС во времени при охлаждающем воздействии для различных значений тока питания ТЭБ
 1 – $I = 2,5$ А; 2 – $I = 3$ А; 3 – $I = 3,5$ А; 4 – $I = 3,7$ А

На рис.5 для оценки возможностей отвода теплоты с горячих спаев ТЭБ в системе приведены данные об изменении температуры теплоотводов во времени при охлаждающем воздействии для различных величин тока питания ТЭБ.

Согласно представленным зависимостям следует, что значение температуры горячих спаев ТЭБ вполне приемлемо для используемого типа ТЭМ вплоть до максимального значения тока питания (при токе питания 3,7 А температура горячего спаев ТЭМ составляет 326,5 К). Данное обстоятельство определяет достаточную эффективность теплосъема в ТЭС и дает

основание полагать о надежной работе разработанного прибора при проведении необходимых процедур.

Библиографический список:

1. Боголюбов В.М., Улащик В.С. Комбинирование и сочетание лечебных физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 2004, № 5.
2. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 2011, № 4.
3. <http://www.kryotherm.ru>.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.673:532.543

Алибеков Г.А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В ЕСТЕСТВЕННОМ РУСЛЕ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Alibekov G.A.

MATHEMATICAL MODELING OF THE MAXIMUM LENGTH OF HYDRAULIC CHANNEL IN A NATURAL WATERCOURSE VIA COMPUTERS

Работа посвящена нахождению максимально допустимой длины гидравлических каналов, проходящих в естественном русле, для предложенного значения параметра коэффициента полезного действия и иных показателей параметров полигонального сечения канала, с применением комплекса программ на ЭВМ.

Ключевые слова: моделирование гидравлических каналов, полигональное сечение канала, максимальная длина канала.

The present paper is devoted to finding the maximum possible length of hydraulic passages extending in a natural line for the given parameters of useful effect coefficient and other performance parameters of polygonal section of the channel, using a set of computer programs.

Key words: modeling of hydraulic channels, polygonal cross-section of the channel, the maximum length of the channel.

Введение

По причине нехватки водных ресурсов на сельскохозяйственных объектах, часто стоит вопрос о прокладке гидравлических каналов к объектам орошения, с целью увеличения плодородности различных культур. Для уменьшения финансовых затрат, выгоднее использовать каналы в естественных руслах, то есть без дополнительной облицовки. Определение максимальной длины, на которую дойдет необходимый объем воды по данному типу канала, при заданном коэффициенте полезного действия, является актуальным вопросом, предлагаемым для рассмотрения в работе. Также актуальностью работы является необходимость внедрения языков программирования высокого уровня, с созданием приложения под совре-

менные операционные системы (Windows), в виду невозможности или высокой трудоемкости при ручном счете.

Цель работы:

- нахождение максимальной длины несущего отрезка гидравлического канала полигонального сечения в естественных грунтах с требуемым коэффициентом полезного действия канала, с учетом потерь воды на фильтрацию и испарение в процессе транспортировки;

- создание прикладного программного обеспечения для моделирования канала полигонального сечения с целью поиска предельно допустимой длины русла.

В основу расчета взят канал полигонального сечения в виду того что, параметры данного сечения канала наилучшим способом соответствуют конфигурациям равноустойчивых откосов, определяемых по методу, основанному на рассмотрении состояния предельного равновесия. Поперечное сечение указанного типа канала приближается по своей форме к естественным руслам, имеющим сечения весьма близкие к параболическим [1].

Коэффициент полезного действия E_b магистрального канала, распределителя, оросителя или их участков определяется как отношение максимального расхода воды Q_{nt} , забираемого из канала, к максимальному расходу воды Q_{br} , в начале канала с учетом потерь воды на фильтрацию и испарение по его трассе. Коэффициенты полезного действия магистрального канала, его ветвей должны быть не менее 0,90 [2].

В коротких гидравлических каналах значением коэффициента полезного действия (КПД) часто можно пренебречь, в виду незначительных потерь на фильтрацию, а также испарение воды в канале, однако при моделировании больших оросительных каналов, с большой протяженностью, КПД является одним из ключевых параметров. Возникает вопрос: какова максимально допустимая длина гидравлического канала в естественном руслом, при заданном КПД.

Пусть даны следующие параметры канала: тип поперечного сечения канала – полигональный; коэффициенты заложения откосов $m_1 = 2$, $m_2 = 1,5$; коэффициент шероховатости $n = 0,0225$; продольный уклон, равный уклону местности, $i = 0,0005$; расход канала $Q = 10 \text{ м}^3/\text{с}$. Фильтрационные потери берем как установившиеся и свободные, а работу канала постоянной. Расчет фильтрационных потерь из каналов непрерывного действия в естественном русле при установившейся свободной фильтрации для каналов полигональной формы по следующей зависимости [2]:

$$Q_f = 0,0116 k_f (B + 2h), \quad (1)$$

где Q_f — расход фильтрационных потерь, $\text{м}^3/\text{с}$, на 1 км длины канала

k_f — коэффициент фильтрации,

B — ширина живого сечения поверху,

h – глубина воды в канале,
Потери воды на испарение [3]:

$$Q_{исп} = B \cdot e \cdot l, \quad (2)$$

где l – длина канала,
 e – слой испарения с водной поверхности в единицу времени, принимается по данным наблюдений, в работе для условий Республики Дагестан принято $e = 10$ мм/сут [4].

Параметры величины избытка бровки магистрального канала без облицовки над предельным показателем среза воды из [2] для упрощения создания программы на ЭВМ линеаризованы выражением[4]:

$$\Delta = 0,2 + 0,008Q - 0,00004Q^2. \quad (3)$$

Для разработки программы на компьютере был взят язык с++, а реализована программа в среде С++ Builder, в виду того что данный язык программирования является языком высокого уровня, а выбранная среда позволяет создавать готовые приложения формата .exe под современные операционные системы (Windows, Mac OS, Linux и др.)[5].

Основная расчетная часть текста программы DlinaKanala.exe для расчета предельной длины канала:

```
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
h=0;k=0;zz1=0;zz2=0;l=0;sch=0;
k1=50;
Memo1->Clear();
while (k<k1)
    { h+=0.0001;
sch++;
if (kz==-1) h1=h*k/(k+1); // Nahodimvisotuiotnoshenie h1/h2
else h1=h*kz/(kz+1);
    h2=h-h1;
    a1=m1*h1;
    a2=m2*h2;
    b1=b+2*a1;
    b2=b1+2*a2;
    w1=h1*(b+b1)/2+h2*(b1+b2)/2;
x1=2*sqrt(h1*h1+a1*a1)+2*sqrt(h2*h2+a2*a2)+b;
    R=w1/x1;
    c=pow(R,n6)/n;
    v=c*sqrt(R*i1);
```

```

    Q=w1*v;
    delta=0.2+0.008*Q-0.00004*Q*Q;
    a3=m2*delta;
    b3=b2+2*a3;
    wdelta=delta*(b2/2+b3/2);
    w=w1+wdelta; // Obshayaviemka
    if (Q*kpd>Qz)
    { if (zz1==0) {wx=w; zz1=1;}
    if (wx>=w)
        {hx=h;wx=w; kx=k; Qx=Q; vx=v; xx=x1; }
        h=0;
    if (k==0) k=0.01;
    if (kz!=-1) { k=k1-0.001; kx=kz;}
        k+=k/5;
    }
}
while (zz2==0)
    {l+=0.001;
    Qr=0.0116*kf*(b2+2*h)*l+b2*kisp*l/86400;
    if (Qz>(Qx-Qr))
    { zz2=1;
    Series1->Add(kpd,l,c1Red);
    }
}
Memo1 ->Lines->Add("h = " + FloatToStr(hx));
Memo1 ->Lines->Add("k = " + FloatToStr(kx));
Memo1 ->Lines->Add("w = " + FloatToStr(xx));
Memo1 ->Lines->Add("W = " + FloatToStr(wx));
Memo1 ->Lines->Add("Q = " + FloatToStr(Qx*kpd));
Memo1 ->Lines->Add("v = " + FloatToStr(vx));
Memo1 ->Lines->Add("Qnetto = " + FloatToStr(Qx));
Memo1 ->Lines->Add("Qpoter = " + FloatToStr(Qr));
Memo1 ->Lines->Add("Max dlinakanala = " + FloatToStr(l));
}

```

Если требуется определить глубину наполнения канала при заданном расходе, задачу необходимо решать методом подбора[6]. Тот же принцип применен при разработке программы для поиска максимальной длины оросительного канала в естественном русле. Для получения более точных данных, шаг для последующего увеличения высоты канала задан равным 0,0001м, а шаг для последующего увеличения длина канала равный 1м.

Как видно на рисунке 1, после ввода необходимых входных параметров мы получаем подробный расчет всех основных параметров канала, та-

кие как высота канала, объем выемки грунта, скорость воды в канале, расход брутто и, безусловно, самую предельно допустимую длину канала для заданного значения КПД. Программа считает параметры с высокой точностью, более 5 знаков после запятой. Кроме того, количество выполненных расчетов в программе превышает значения 10^4 , что является крайне трудоемким для привычного режима ручного счета моделей каналов. В программе также можно не задаваться значением коэффициента k , определяющего отношение высоты h_1 к h_2 , в этом случае программа сама даст оптимальные значения параметров h_1 и h_2 , что является еще одним облегчением для проектирования с целью определения наименьшей выемки грунта. Этот фактор также скажется на стоимости канала, т.к. чем меньше грунта выкапывать, тем выгоднее. Программа также выводит графики зависимостей, выбираемые в процессе проектирования пользователем для большей наглядности. Параметры для графика пользователь может выбирать самостоятельно и отслеживать каждый параметр индивидуально, с целью подробного исследования различных моделей.

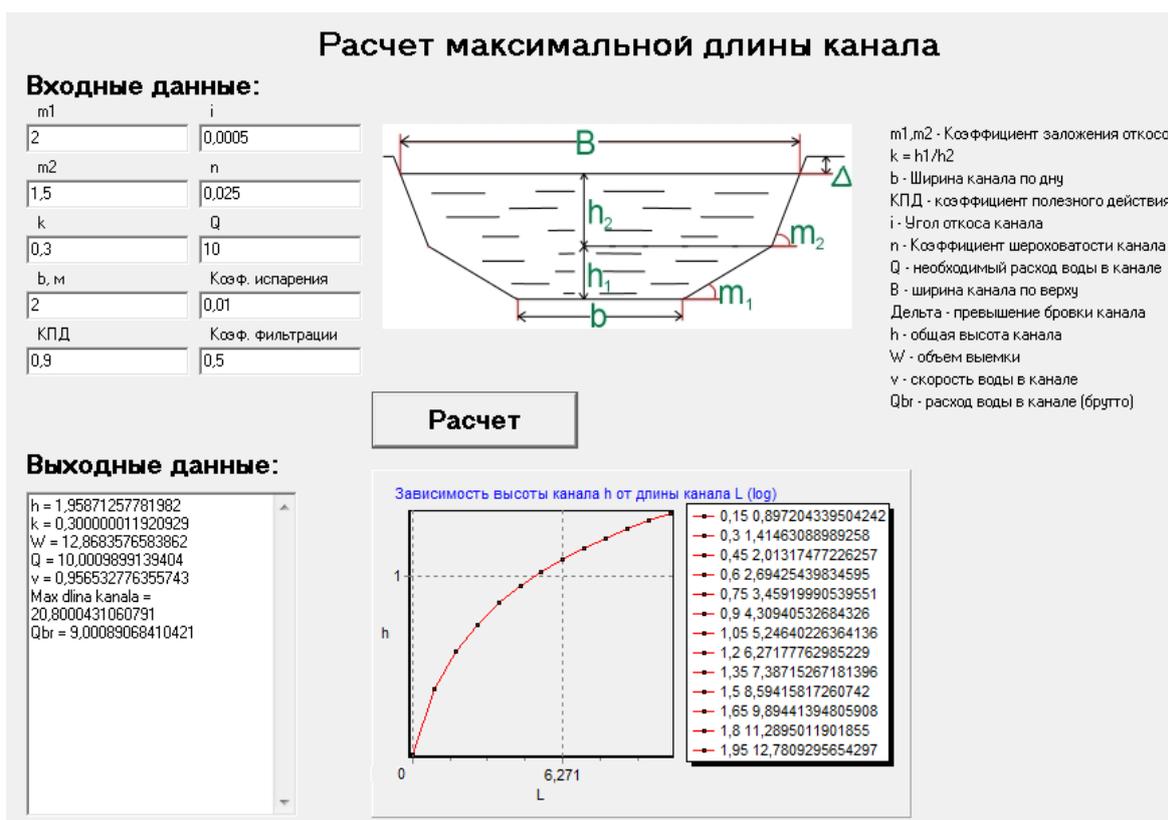


Рисунок 1 - Интерфейс программы для расчета максимальной длины канала

Результаты расчетов полученные с помощью данной программы частично внесены в таблицу 1 и часть данных изображены в качестве графиков на рисунке 3,4.

Таблица 1 – Предельная длина естественного русла

№	h , м	k (h_1/h_2)	b , м	k_ϕ	n	m_1	m_2	ω_B , м ²	W , м ³	v , м/с	$Q_{\text{норм.бр}}$, м ³ /с	$l_{\text{пр}}$, км
1	2	0,3	2	0,5	0,025	2	1,25	9	12,47	0,98	9	22,5
2	2,06	0,3	2	0,5	0,025	2	1	8,6	12,09	0,99	9	24,5
3	2,17	0,5	2	0,3	0,025	2	1,25	9,44	13,55	1	10	39,2
4	1,49	0,5	2	0,3	0,025	2	1,25	7,4	8,3	0,83	5	24,8
5	2,37	0,75	3	0,3	0,0225	1,75	1,25	11,44	19,63	1,25	18	57,9
6	1,95	0,3	2	0,5	0,025	2	1,5	9,45	12,87	0,95	9	20,8
7	1,48	0,3	2	0,5	0,025	2	1,5	7,64	8,44	0,82	4,95	14,0
8	1,26	0,3	2	0,5	0,025	2	1	6,06	6,02	0,84	3,6	13,6
9	2,55	0,2	2	0,5	0,0225	2	1,5	11,71	19,91	1,23	18	33,7
10	1,48	0,5	2	0,5	0,0225	3	1,5	6,78	7,48	0,83	4,5	15,2
11	0,57	0,2	2	0,5	0,02	3	1,5	4,33	2,70	0,55	0,9	4,4
12	1,40	0,75	1,5	0,3	0,225	1,75	1,25	6,46	6,56	0,86	4	22,9
13	2,77	0,6	3,5	0,3	0,0225	3	1,5	13,26	26,57	1,38	27	75,1
14	2,36	0,4	3	0,3	0,0225	3	1,5	13,34	24,27	1,28	22,5	59,4
15	0,72	0,4	1	0,3	0,0225	3	1,5	5,33	4,28	0,70	2	13,3
16	0,65	1	1,5	0,5	0,0225	2,5	1,75	4,57	2,93	0,57	1	4,5
17	0,76	1	1,5	0,5	0,0225	1,25	1,25	3,92	2,6	0,6	1	5,7
18	1,59	1	1,5	0,5	0,0225	1,5	1,5	7,25	7,82	0,9	5	15,3
19	2,04	1	0	0,5	0,0225	1,5	1,5	7,35	7,81	0,9	5	15,7
20	1,49	1	1,5	0,5	0,0225	2	1	6,92	7,60	0,91	5	16,1
21	2,47	1	2	0,5	0,0225	1,5	1,5	10,92	17,32	1,18	15	30,6
22	3,08	1	0	0,5	0,0225	1,5	1,5	11,10	17,35	1,17	15	31,2
23	2,30	1	2	0,5	0,0225	2	1	10,39	16,82	1,20	15	32,4

Как видно из таблицы 1, если брать коэффициент откосов $m_1 = m_2$, то у нас получается трапецидальный канал, который уступает в ряде параметров каналу с полигональным сечением с аналогичными параметрами.

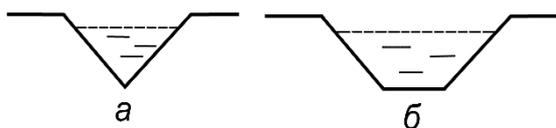


Рисунок 2 -

- а) треугольное сечение канала;
- б) трапецидальное сечение ка-

Кроме того полигональный канал максимально близко обладает конфигурацией равноустойчивых откосов, что является значительным плюсом при рассмотрении вопроса оптимальности всего периметра канала на прочность. Также видно, что скорость течения в полигональном

канале выше, чем скорость течения в трапецеидальном канале, как следствие, предельная длина канала тоже выше. Это касается также треугольного сечения канала. Сечения данных типов каналов показаны на рис.2

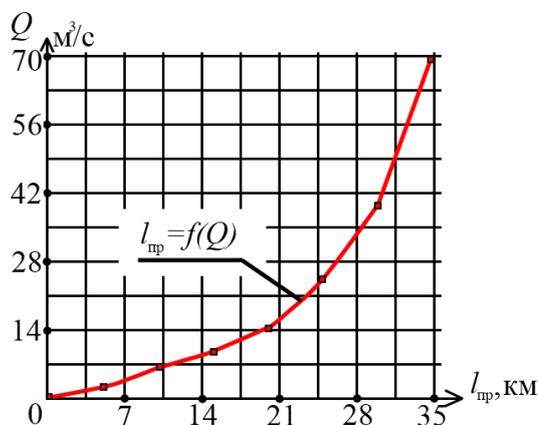


Рисунок 3 – Зависимость $l_{пр} = f(Q)$

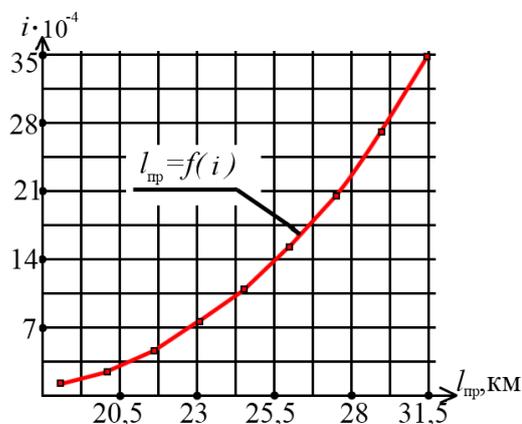


Рисунок 4 – Зависимость $l_{пр} = f(i)$

Анализируя рисунок 3 можно заметить, что при последующем увеличении расхода воды в канале Q показатель предельной длины канала $l_{пр}$ увеличивается уже значительно медленнее, в связи с тем, что, чем длиннее трасса по которой проходит вода, тем больше воды фильтруется, так как увеличивается поглощаемая площадь, а также с большей поверхности испаряется большее количество воды. Исходя из графика является возможным постановить следующее: при заданных параметрах наиболее эффективным будет расход воды в канале до $20 \text{ м}^3/\text{с}$. Однако брать данный расход как норматив не следует, в связи с тем, что при других параметрах канала полигонального сечения возможно график будет отличным от настоящего.

Сопоставляя данные таблицы 1 следует заметить что увеличение скорости воды в канале уменьшает объем выемки грунта, что в свою очередь уменьшает затраты на ряд работ. На рисунке 4 изображен график зависимости уклона i к длине $l_{пр}$. Отметим что значение уклона i влияет на скорость течения воды в канале, а в свою очередь скорость течения воды в канале не должна вызывать размыва русла, т.е. не должна превышать «предельную скорость по размыву», значение которой характеризуется качественными характеристиками грунта в канале.

Рассматриваемая задача имеет степень многофакторной и сложной задачи в виду того, что искомая длина канала зависит от ряда параметров:

$$l_{пр} = f(Q, b, h, m_1, m_2, n, i, k_\phi, E_b, e_{идр.}) \quad (4)$$

В (4) длина канала зависит от 10 и более параметров, которые в свою очередь варьируются для получения более точных результатов модели

канала. Если каждый параметр варьировать хотя бы 4 значениями, то в целом количество всевозможных вариаций будет равно $4^{10} = 1\,048\,576$. При помощи ручного счета такое количество расчетов, с последующим анализом, сделать невозможно или крайне сложно. Порой для счета большего количества значений для варьирования, а также большего количества варьлируемых факторов, недостаточны даже современные ЭВМ. В связи с этим необходимо пользоваться методами математического планирования эксперимента [7]. Существует большое количество планов для математического планирования, наиболее подходящий план выбирается интуитивно, а также, следуя рекомендациям из [7,8]. Количество вариаций различных параметров может быть различным, в связи с тем, что некоторые параметры влияют значительно на функцию, а некоторые менее значительно. В связи с этим выбран план, удовлетворяющий требованию: $2^2/4^7/8^1//32$, где 2^2 – это по 2 варьирования двух факторов, 4^7 – это по 4 варьирования 7 факторов и 8^1 – по 8 варьирований одного фактора, 32 – количество опытов. Выбранный план эксперимента для 10 факторов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – План эксперимента для искомой величины l_{np} .

№ опыта	Факторы										
	m_1	m_2	k (h_1/h_2)	b , м	E_{δ}	i	n	Q	e , м/сут	k_{ϕ} , м/сут	l_{np} , м
1	1	1	0.2	1	0.7	0.0003	0.015	3	0.01	0.05	513905
2	1.5	1.5	0.5	3	0.77	0.0005	0.03	3	0.01	0.2	57482
3	2	2	1	10	0.84	0.0007	0.015	3	0.02	1	4279
4	2.5	2.5	2	6	0.9	0.001	0.03	3	0.02	5	625
5	1.5	1	0.2	6	0.84	0.001	0.015	5	0.02	0.2	55774
6	1	1.5	0.5	10	0.9	0.0007	0.03	5	0.02	0.05	79769
7	2.5	2	1	3	0.7	0.0005	0.015	5	0.01	5	4717
8	2	2.5	2	1	0.77	0.0003	0.03	5	0.01	1	12756
9	1.5	1.5	1	6	0.9	0.0003	0.015	7	0.01	1	7380
10	1	1	2	10	0.84	0.0005	0.03	7	0.01	5	1894
11	2.5	2.5	0.2	3	0.77	0.0007	0.015	7	0.02	0.05	420693
12	2	2	0.5	1	0.7	0.001	0.03	7	0.02	0.2	146700
13	1	1.5	1	1	0.77	0.001	0.015	10	0.02	5	8471
14	1.5	1	2	3	0.7	0.0007	0.03	10	0.02	1	41744
15	2	2.5	0.2	10	0.9	0.0005	0.015	10	0.01	0.2	34408
16	2.5	2	0.5	6	0.77	0.0003	0.03	10	0.01	0.05	366091
17	2	1	0.5	3	0.9	0.0003	0.015	12	0.02	5	2943
18	2.5	1.5	0.2	1	0.84	0.0005	0.03	12	0.02	1	19876
19	1	2	2	6	0.77	0.0007	0.015	12	0.01	0.2	164811
20	1.5	2.5	1	10	0.7	0.001	0.03	12	0.01	0.05	581796

21	2.5	1	0.5	10	0.77	0.001	0.015	15	0.01	1	30309
22	2	1.5	0.2	6	0.7	0.0007	0.03	15	0.01	5	8862
23	1.5	2	2	1	0.9	0.0005	0.015	15	0.02	0.05	328786
24	1	2.5	1	3	0.77	0.0003	0.03	15	0.02	0.2	131084
25	2.5	1.5	2	10	0.7	0.0003	0.015	17	0.02	0.2	193653
26	2	1	1	6	0.77	0.0005	0.03	17	0.02	0.05	690358
27	1.5	2.5	0.5	1	0.84	0.0007	0.015	17	0.01	5	5335
28	1	2	0.2	3	0.9	0.001	0.03	17	0.01	1	14393
29	2	1.5	2	3	0.84	0.001	0.015	20	0.01	0.05	708367
30	2.5	1	1	1	0.9	0.0007	0.03	20	0.01	0.2	89933
31	1	2.5	0.5	6	0.7	0.0005	0.015	20	0.02	1	54696
32	1.5	2	0.2	10	0.77	0.0003	0.03	20	0.02	5	5496

Как видно из таблицы 2 факторы имеют некоторый диапазон и различное для некоторых факторов количество вариаций:

- 2 уровня для: $e = 0,01; 0,02$ (м/сут);
 $n = 0,015; 0,03$;
- 8 уровней для: $Q = 3,0; 5,0; 7,0; 10,0; 12,0; 15,0; 17,0; 20,0$ (м³/с).
- 4 уровня для: $m_1 = 1; 1,5; 2; 2,5$;
 $m_2 = 1; 1,5; 2; 2,5$;
 $k(h_1/h_2) = 0.2; 0.5; 1; 2$.
 $i = 0,0001; 0,0004; 0,0007; 0,001$;
 $k_\phi = 0,05; 0,2; 1; 5$ (м/сут);
 $E_b = 0,7; 0,77; 0,84; 0,9$;
 $b = 1; 3; 6; 10$ (м).

Зачастую одни параметры влияют более существенно на модель, в свою очередь другие же факторы влияют в меньшей степени на ту же модель, в связи с этим, интуитивно берем большее число варьирований для наиболее влиятельных факторов. В виду громадной трудоемкости решения подобных матриц размером 10x32, разработана программа для автоматического подсчета искомой формулы зависимости функции l_{np} , от различных факторов. Результатом программы явилась следующая зависимость:

$$l_{np} = 925,115 \cdot m_1^{-0,1222} \cdot m_2^{-0,2854} \cdot k^{-0,01292} \cdot b^{-0,2097} \cdot E_b^{-5,4866} \cdot i^{0,095764} \cdot n^{-0,2926} \cdot Q^{0,73093} \cdot e^{-0,03647} \cdot k_\phi^{-1,0014} \quad (5)$$

Результаты модели показывают зависимость параметров к искомой длине канала, в результате чего, одни параметры влияют более существенно относительно других. Ниже приведена зависимость влияния параметров на предельную протяженность длины русла в порядке возрастания:

$$k < e < m_1 < i < m_2 < n < b < Q < E_b < k_\phi \quad (6)$$

Выводы. В результате проделанной работы получена модель (5) которая отражает отношение зависимости большого количества параметров гидравлического канала к искомой предельной длине канала. В ходе работы разработан программный комплекс, без помощи которого процесс получения модели был бы крайне сложным, а при задачах большого количества параметров и большего количества варьирований этих параметров, вовсе невозможным. Данный программный комплекс можно принять как дальнейшее развитие систем автоматизированного проектирования гидравлических объектов. Предложенная зависимость (5) также является вспомогательным средством процесса проектирования гидравлических каналов полигонального сечения.

Библиографический список:

1. Учичус А.А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов. М.: Изд-во лит-ры по строит-ву, 1965. -274 с.
2. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 65 с.
3. Дементьев В.Г. Орошение. – М.: Колос, 1979. – 303 с.
4. Алибеков А.К., Горшков В. В. К вопросу оптимизации параметров каналов // Обеспечение охраны, улучшения и восстановления поверхностных водных объектов в Западно-Каспийском бассейновом округе: Сб.статей межрегион. науч.-практ. конференции. – Пятигорск: Западно-Каспийское бассейновое водное управление, 2011. – С. 179 – 182.
5. Архангельский А.Я. Программирование в С++ Builder. 7-е изд. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2010 896с. (1230с.): ил.
6. Корсаков С.М. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Гидравлика». Нижний Новгород 2011. – 127с.
7. Налимов В.В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. – М.: Металлургия, 1981. – 150 с.
8. Таблицы планов эксперимента: для факторных и полиномиальных моделей/ Под. ред. Налимова В.В. - М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

УДК 681.3/ББК 32.973.2

Ильясов Э. Э., Амиров А. М.

РАСЧЕТ МАТРИЦЫ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ilyasov E. E., Amirov A. M.

CALCULATION OF MATRIX CORRESPONDENCE WITH THE USE OF PARALLEL COMPUTING TECHNOLOGIES

Увеличение количества транспортных средств привело к перегруженности городских дорог, многочасовым пробкам, затруднению движения пешеходов, увеличению количества аварий и т.д. Поэтому важность приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Решение таких задач невозможно без математического моделирования транспортных сетей. Важной задачей моделирования является расчет матрицы корреспонденций. В данной статье разрабатывается программа расчета матрицы корреспонденций с применением параллельных вычислительных технологий. Применение данных технологий позволит повысить эффективность моделирования, увеличить точность и скорость работы алгоритма.

Ключевые слова: транспортные потоки, матрица корреспонденций, параллельные вычисления, гравитационная модель.

Increasing the number of vehicles has led to urban congestion, many hours of traffic jams, obstruction of pedestrian traffic, increase the number of accidents, etc. Therefore, the importance of gaining the optimum network planning, improved traffic management, optimization of the system of public transport routes. The solution of such problems is impossible without mathematical modeling of traffic flows. An important task of modeling is to calculate the trip distribution. In this paper, we develop a program for calculating trip distribution using parallel computing technologies. The application of these technologies will improve the efficiency of simulation, increase accuracy and speed of the algorithm.

Key words: traffic flows, trip distribution, parallel computing, gravity model.

Введение

В настоящее время остро стоит проблема управления транспортными потоками, особенно в больших городах. Увеличение количества транс-

портных средств как личных, так и общественных, привело к перегруженности городских дорог, многочасовым пробкам, затруднению движения пешеходов, увеличению количества аварий и т.д. Кроме того, во многих крупных городах исчерпаны, или близки к исчерпанию, возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Решение таких задач невозможно без математического моделирования транспортных сетей. Главная задача математических моделей – определение и прогноз всех параметров функционирования транспортной сети, таких как интенсивность движения на всех элементах сети, объемы перевозок в сети общественного транспорта, средние скорости движения, задержки и потери времени и т.д. Необходимость обработки большого количества параметров усложняет процесс решения транспортных задач на ЭВМ. Применение параллельных вычислительных технологий позволит повысить эффективность моделирования, увеличить точность и скорость работы алгоритма.

Математические модели, применяемые для анализа транспортных сетей, весьма разнообразны по решаемым задачам, математическому аппарату, используемым данным и степени детализации описания движения. Основываясь на функциональной роли моделей, т.е. на тех задачах, для решения которых они применяются, можно условно выделить три основных класса:

- прогнозные модели,
- имитационные модели,
- оптимизационные модели.

Прогнозные модели предназначены для решения следующей задачи. Пусть известны геометрия и характеристики транспортной сети, а также размещение потокообразующих объектов в городе. Необходимо определить, какими будут транспортные потоки в этой сети.

Более подробно, прогноз загрузки транспортной сети включает в себя расчет усредненных характеристик движения, таких как, объемы межрайонных передвижений, интенсивность потока, распределение автомобилей и пассажиров по путям движения и др. При помощи этих моделей можно прогнозировать последствия изменений в транспортной сети или в размещении объектов.

Важной задачей прогнозных моделей является расчет матрицы корреспонденций, которая служит количественной структурой передвижений по сети. Сложность расчета матрицы состоит в необходимости решения системы из более миллиона нелинейных уравнений. В данной статье разрабатывается программа расчета матрицы корреспонденций с использованием параллельных вычислительных технологий.

Постановка задачи

Количественной характеристикой структуры передвижений по сети служит матрица корреспонденций, элементами которой являются объемы передвижений (автомобилей или пассажиров в час) между каждой парой условных районов прибытия-отправления (ПО). Все многообразие передвижений, совершаемое в сети, может быть разбито на разные группы передвижений по следующим критериям:

- по различию в целях передвижений;
- по различию в выборе способов передвижения;
- по различию в предпочтениях при выборе путей передвижения.

Среди групп передвижений с различными целями наиболее важными и многочисленными являются

- передвижения от мест жительства к местам приложения труда и обратно (так называемые трудовые корреспонденции);
- передвижения от мест жительства к местам культурно-бытового обслуживания и обратно;
- передвижения, совершаемые между местами приложений труда (деловые поездки);
- передвижения, совершаемые между объектами культурно-бытового обслуживания.

Для каждой группы передвижений рассчитывается своя матрица межрайонных корреспонденций. Входной информацией к модели расчета корреспонденций являются общие объемы прибытия и отправления в каждом районе ПО. Оценка объема прибытий и отправок по разным группам связана с пространственным размещением потокопорождающих объектов и подвижностью населения, т.е., средним количеством поездок, совершаемых с теми или иными целями. Эта оценка строится на основе имеющихся демографических и социально-экономических данных и результатов обследований и в основном предшествует собственно математическому моделированию [1].

К числу наиболее распространенных моделей расчета корреспонденций относятся гравитационные модели, энтропийные модели, модели конкурирующих возможностей и некоторые другие.

В данной статье рассматривается расчет матрицы корреспонденций на основе гравитационной модели с применением параллельных вычислительных технологий.

Идею построения гравитационной модели дал всемирный закон тяготения, утверждающий, что все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Применительно к транспортной системе в качестве тел выступают пункты, порождающие/поглощающие потоки, за массу тела принимается суммарный объем выезжающего/въезжающего потока, физическое расстояние можно заме-

нить на любые другие затраты, связанные с передвижением. В самой простой форме гравитационная модель имеет вид:

$$p_{ij} = \gamma \frac{s_i d_j}{c_{ij}^2}, \quad i \in S, j \in D \quad (1)$$

где D – множество районов прибытия,
 S – множество районов отправления,
 s_i – общий объем выезжающих из пункта $i \in S$,
 d_j – общий объем въезжающих в пункт $j \in D$,
 c_{ij} – удельные затраты на передвижение из i в j ,
 $\gamma > 0$ – калибровочный коэффициент.

Вместо классической гравитационной модели (1) на практике используют ее модификацию, в которой к условию (1) добавляются дополнительные условия, например, балансовые ограничения на выезд и въезд. Кроме того, квадрат расстояния затрат заменяют на, так называемую, функцию тяготения $f(c_{ij})$, характеризующую предпочтения индивидуумов при выборе пары источник-сток (i, j) для передвижения [2]. В результате модифицированная гравитационная модель имеет вид:

$$p_{ij} = \alpha_i \beta_j s_i d_j f(c_{ij}), \quad i \in S, j \in D, \quad (2)$$

где α_i и β_j – коэффициенты.

Очевидно, что система будет совместной только тогда, когда суммарные объемы по выезду и въезду равны:

$$\sum_{i \in S} s_i = \sum_{j \in D} d_j. \quad (3)$$

Выбор функции тяготения f осуществляется либо в процессе калибровки модели на основе сопоставления расчетных данных по модели и эмпирических наблюдений, либо на основе некоторых соображений о предпочтениях при выборе пары источник-сток. Одна из аппроксимаций функции имеет следующий вид: $f(c_{ij}) = \exp(-\gamma c_{ij}^\delta)$, где при расчете корреспонденций трудовых затрат полагают $\gamma \approx 0.065, \delta \approx 1$ [1].

Важно отметить, что величины α_i и β_j зависят от всего набора s_i и d_j , а, следовательно, и объемы корреспонденций p_{ij} зависят от загрузки всей системы.

Вычисление корреспонденций в гравитационной модели сводится к вычислению коэффициентов α_i и β_j из системы нелинейных уравнений (2)-(3). Если учесть, что для больших городов $|S| = |D| > 1000$, необходимо решить систему из более миллиона нелинейных уравнений. Очевидно, что данная задача принадлежит к разряду высокопроизводительных вычислений.

Методы испытаний

Для решения поставленной задачи был разработан алгоритм параллельного расчета матрицы корреспонденций на языке C#. Основой алгоритма является метод балансировки, описанный в работе [3].

Суть метода заключается в следующем:

Шаг 1. Присваиваем

$$p_{ij}^0 \leftarrow s_i d_j f(c_{ij}) \left[\sum_{l \in D} d_l f(c_{il}) \right]^{-1}$$

Шаг 2. Вычисляем

$$p_{ij}^k \leftarrow \begin{cases} p_{ij}^k d_j \left[\sum_{i \in S} p_{ij}^k \right]^{-1} & , \text{если } \sum_{i \in S} p_{ij}^k > d_j , \\ p_{ij}^k & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Шаг 3. Проверяем равенства

$$s_i = \sum_{j \in D} p_{ij}^k \quad \text{и} \quad d_j = \sum_{i \in S} p_{ij}^k.$$

В случае истинности равенств, завершаем алгоритм и матрица p^k содержит искомые корреспонденции. Иначе переходим к шагу 4.

Шаг 4. Вычисляем

$$q_i \leftarrow s_i - \sum_{j \in D} p_{ij}^k, \quad r_j \leftarrow d_j - \sum_{i \in S} p_{ij}^k.$$

Шаг 5. Вычисляем

$$p_{ij}^{k+1} \leftarrow p_{ij}^k + q_i r_j f(c_{ij}) \left[\sum_{l \in D} r_l f(c_{il}) \right]^{-1}$$

Переходим к шагу 2.

Как видно, критичным для выполнения является цикл 2-5. Распараллеливание данного цикла приведет к эффективному использованию имеющихся вычислительных мощностей, что даст ускорение вычисления корреспонденций, кратное числу процессоров и ядер в системе.

Шаги 2-5 должны идти именно в той последовательности, в которой представлены в алгоритме, что мешает выполнить данные шаги параллельно на разных процессорах. Однако сами шаги 2-5 являются самостоятельными задачами, которые успешно подлежат распараллеливанию при реализации шаблона `ParallelLoop`.

Программная реализация алгоритма с применением данного шаблона параллельного программирования разработана на языке C# (.NETFramework). Как известно, платформа .NETFramework 4 содержит библиотеку `TaskParallelLibrary` (TPL), в которой имеется поддержка шаб-

лона Parallelloop через класс Parallel, а также множество других классов, упрощающих процесс разработки параллельных программ [4].

Результаты эксперимента и их обсуждение

Тестирование разработанной программы при $|S| = |D| = 200$ на процессоре IntelCore 2 Duo показало почти двукратное повышение производительности по сравнению с последовательной реализацией алгоритма, а именно 8471мс против 15322мс. Двукратное ускорение вычисления корреспонденций связано с тем, что процессор Core 2 Duo имеет два ядра. Тестирование на процессоре Intel Core i7-3630QM показало почти четырехкратное повышение производительности по сравнению с последовательной реализацией алгоритма, т.к. данный процессор содержит 4 ядра. Выполнение программы на системе с N процессорами и ядрами позволит найти корреспонденции практически в N раз быстрее последовательного алгоритма.

Заключение

В данной статье была разработана программа параллельного расчета матрицы корреспонденций на языке C#. Тестирование программы показало прирост в производительности, кратный числу ядер вычислительной системы.

Таким образом, применение параллельных вычислительных технологий позволяет существенно повысить скорость вычисления матрицы корреспонденций, что сказывается на эффективности моделирования транспортных потоков в целом. В дальнейшем предполагается реализация параллельного алгоритма расчета матрицы корреспонденций и на основе энтропийной модели.

Библиографический список:

1. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков – М.: Журнал «Автоматика и Телемеханика», 2003, №11, с. 3–46.
2. А.В. Гасников и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие – М.: МЦНМО, 2012 – 189 с.
3. Arrowsmith G. A. A behavioural approach to obtaining a doubly constrained trip distribution model – Operational Research Quarterly, 1973, V. 24, № 1, p. 101–111.
4. C. Campbell, R. Johnson, A. Miller, S. Toub. Parallel Programming with Microsoft .NET: Design Patterns for Decomposition and Coordination on Multi-core Architectures (Patterns & Practices) – Microsoft Press, 2010 – 217 p.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.04

Языев Б.М., Чепурненко А.С., Литвинов С.В., Языев С.Б.

РАСЧЁТ ТРЁХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЁТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ СРЕДНЕГО СЛОЯ

Yazyev B.M., Chepurnenko A.S., Litvinov S.V., Yazyev S.B.

CALCULATION OF THE THREE-LAYER PLATE BY THE METHOD OF FINAL ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT CREEP OF THE CENTRE

Получены разрешающие уравнения метода конечных элементов для задачи изгиба трехслойной гибкой пластинки с учетом ползучести заполнителя. Данные уравнения справедливы для произвольных законов связи деформаций ползучести и напряжений. При выводе основных соотношений МКЭ учитывалась только работа заполнителя на сдвиг. Выполнено сравнение решения в МКЭ с результатами, получаемыми методом конечных разностей с учетом работы несущих слоев.

Ключевые слова: *трехслойная пластинка, ползучесть, метод конечных разностей, метод конечных элементов.*

The resolving equations of finite element method for the problem of bending of three-layer flexible plate taking into account creep were obtained. These equations are valid for arbitrary laws of connection between creep strain and stress. In deriving the basic relations of FEM we took into account only the work of aggregate on shift. Comparison of the solutions in the FEM with the results obtained by finite difference method with the work of bearing layers was made.

Key words: *three-layer plate, creep, finite difference method, finite element method.*

Введение

Трехслойные пластинки, сочетающие в себе легкость и высокую несущую способность, в настоящее время широко применяются в строительстве. Известно, что пенопластам, которые используются в таких пластинках в качестве среднего слоя, присущи не только упругие свойства, но и вязкость. Поэтому для адекватного описания НДС трехслойных панелей необходимо использовать аппарат теории ползучести [1, 2].

Вопросам расчета трехслойных конструкций с учетом реологических свойств заполнителя посвящено достаточно много работ [4–9]. Однако авторы, как правило, ограничиваются определенным законом связи деформаций ползучести и напряжений. Имеется решение данной задачи в случаях, когда ползучесть описывается законами Фойгта [8], Максвелла–Томпсона [5], уравнением Больцмана–Вольтерра при экспоненциальном ядре [6]. В действительности ползучесть полимерных материалов характеризуется более сложными зависимостями, поэтому существует необходимость в универсальной методике расчета.

Постановка задачи

Предположим, что толщина наружных слоев одинакова и равна t . Кроме того, t намного меньше общей толщины пластинки h (рис. 1). Будем считать, что крайние слои передают нормальные и касательные усилия в своей плоскости, а средний слой работает только на сдвиг [3]. Пусть u^B, v^B, w^B — перемещения точек верхнего слоя, u^H, v^H, w^H — соответственно перемещения нижнего слоя. Полагаем, что средний слой несжимаем, т.е. $w^B = w^H = w$. Деформации верхнего и нижнего слоя при больших прогибах будут равны:

$$\varepsilon_x^{B(H)} = \frac{\partial u^{B(H)}}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2; \quad \varepsilon_y^{B(H)} = \frac{\partial v^{B(H)}}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2; \quad \gamma_{xy}^{B(H)} = \frac{\partial u^{B(H)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{B(H)}}{\partial x}. \quad (1)$$

Соответствующие им напряжения запишутся в виде:

$$\sigma_x^{B(H)} = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x^{B(H)} + \nu \varepsilon_y^{B(H)}); \quad \sigma_y^{B(H)} = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_y^{B(H)} + \nu \varepsilon_x^{B(H)});$$

$$\tau_{xy}^{B(H)} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy}^{B(H)}.$$

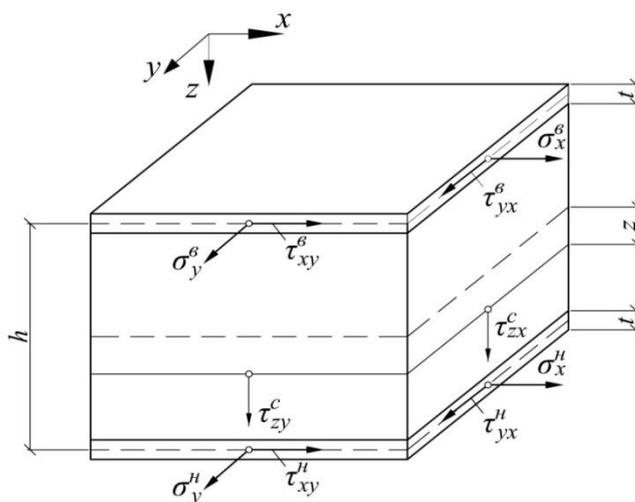


Рисунок 1 - Трёхслойная пластинка

Пусть σ_x , σ_y , τ_{xy} — полные напряжения в срединной поверхности пластинки. Так как срединный слой не воспринимает нормальных усилий в своей плоскости, то

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x^B + \sigma_x^H}{2}; \quad \sigma_y = \frac{\sigma_y^B + \sigma_y^H}{2}; \quad \tau_{xy} = \frac{\tau_{xy}^B + \tau_{xy}^H}{2}.$$

Кроме того, вводя обозначения $u = \frac{u^B + u^H}{2}$ и $v = \frac{v^B + v^H}{2}$, получим:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{\nu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right]; \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\nu}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right]; \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} \right]. \end{aligned}$$

Изгибающие и крутящий моменты будут равны:

$$M_x = (\sigma_x^H - \sigma_x^B) \cdot t \cdot \frac{h}{2};$$

$$M_y = (\sigma_y^H - \sigma_y^B) \cdot t \cdot \frac{h}{2};$$

$$H = (\tau_{xy}^H - \tau_{xy}^B) \cdot t \cdot \frac{h}{2}.$$

С учетом (1) и вводя обозначения $\alpha = \frac{u^H - u^B}{h}$, $\beta = \frac{v^H - v^B}{h}$, получим:

$$\begin{aligned} M_x &= D \left(\frac{\partial \alpha}{\partial x} + \nu \frac{\partial \beta}{\partial y} \right); \quad M_y = D \left(\frac{\partial \beta}{\partial y} + \nu \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right); \quad H \\ &= D(1-\nu) \left(\frac{\partial \alpha}{\partial y} + \nu \frac{\partial \beta}{\partial x} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где $D = \frac{E t h^2}{2(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость трехслойной пластинки.

Для перемещений точки заполнителя, находящейся на расстоянии z от срединной поверхности, будут иметь место зависимости [3]:

$$u^c = \frac{u_B + u_H}{2} + \frac{u_H - u_B}{h} z = u + \alpha z; \quad v^c = \frac{v_B + v_H}{2} + \frac{v_H - v_B}{h} z = v + \beta z.$$

Деформации сдвига среднего слоя будут равны:

$$\gamma_{zx}^c = \frac{\partial u^c}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} = \alpha + \frac{\partial w}{\partial x}; \quad \gamma_{zy}^c = \frac{\partial v^c}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = \beta + \frac{\partial w}{\partial y}.$$

Касательные напряжения с учетом деформаций ползучести примут вид:

$$\begin{aligned} \tau_{zx}^c &= G_3 (\gamma_{zx}^c - \gamma_{zx}^{c*}) = G_3 \left(\alpha + \frac{\partial w}{\partial x} - \gamma_{zx}^{c*} \right); \quad \tau_{zy}^c = G_3 (\gamma_{zy}^c - \gamma_{zy}^{c*}) \\ &= G_3 \left(\beta + \frac{\partial w}{\partial y} - \gamma_{zy}^{c*} \right), \end{aligned}$$

где G_3 — модуль сдвига заполнителя, γ_{zx}^{c*} , γ_{zy}^{c*} — деформации ползучести.

Поперечные силы выразятся следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_x &= \tau_{zx}^c h = G_3 h \left(\alpha + \frac{\partial w}{\partial x} - \gamma_{zx}^{c*} \right); & Q_y &= \tau_{zy}^c h \\ &= G_3 h \left(\beta + \frac{\partial w}{\partial y} - \gamma_{zy}^{c*} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Вводя функцию перемещений $F = \frac{\partial \alpha}{\partial x} + \frac{\partial \beta}{\partial y}$ из уравнения (3) получим:

$$F = -\nabla^2 w + \frac{1}{hG_3} \left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial \gamma_{zx}^{c*}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zy}^{c*}}{\partial y}. \quad (4)$$

Дифференциальные уравнения равновесия имеют вид:

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} - Q_x = 0; \quad \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} - Q_y = 0. \quad (8)$$

С учетом (2) для поперечных сил можно записать:

$$Q_x = D \nabla^2 \alpha; \quad Q_y = D \nabla^2 \beta. \quad (5)$$

Уравнение равновесия в проекциях на нормаль к деформированной поверхности [3]:

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + 2t \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2\tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) + q = 0. \quad (6)$$

Подставляя в (6) выражения для поперечных сил (5), получим:

$$\frac{D}{2t} \nabla^2 F = -\frac{q}{2t} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (7)$$

где Φ — функция напряжений, $\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}$, $\sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}$, $\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}$.

Из уравнений (4) и (5) получим:

$$F = -\nabla^2 w + \frac{D}{G_3 h} \nabla^2 F + \frac{\partial \gamma_{zx}^{c*}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zy}^{c*}}{\partial y}. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) можно свести к одному уравнению, исключив функцию F :

$$\frac{D}{2t} \nabla^4 w = \left(1 - \frac{D}{G_3 h} \nabla^2 \right) \left(\frac{q}{2t} + L(w, \Phi) \right) + \frac{D}{2t} \nabla^2 \left(\frac{\partial \gamma_{zx}^{c*}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zy}^{c*}}{\partial y} \right), \quad (9)$$

где $L(w, \Phi)$ — дифференциальный оператор, равный:

$$L(w, \Phi) = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}.$$

Уравнение совместности деформаций имеет вид [3]:

$$\frac{1}{E} \nabla^4 \Phi = -\frac{1}{2} L(w, w). \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) образуют систему дифференциальных уравнений изгиба трехслойной гибкой пластинки при ползучести. При малых проги-

бах можно положить $\Phi = 0$. Тогда при $q = const$ уравнение (9) примет вид:

$$\nabla^4 w = \frac{q}{D} + \nabla^2 \left(\frac{\partial \gamma_{zx}^{c*}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zy}^{c*}}{\partial y} \right). \quad (11)$$

При отсутствии деформаций ползучести уравнение (11) совпадает с уравнением Софи Жермен, из чего напрашивается вывод о том, что деформации заполнителя не влияют на прогиб трехслойной пластинки. Однако граничные условия для уравнения (11) отличаются от граничных условий для однослойной пластинки. Если пластинка шарнирно оперта по контуру, то граничные условия запишутся в виде: $w = 0$, $\frac{\partial^2 w}{\partial n^2} = -\frac{q}{G_3 h'}$, где n — нормаль к грани.

Как показывает расчет, деформации заполнителя могут влиять на прогиб больше, чем деформации несущих слоев. Более того, при условии $\frac{G_3 l^2}{Eht} \leq 0.5$ можно без существенного ущерба для точности результатов, определять прогибы и напряжения в заполнителе в предположении, что $u^e = u^h = v^e = v^h = 0$ [5]. Пренебрегая влиянием несущих слоев на прогиб, можно получить разрешающие уравнения метода конечных элементов.

Рассмотрим прямоугольный конечный элемент с размерами $a \times b$ (рис. 2).

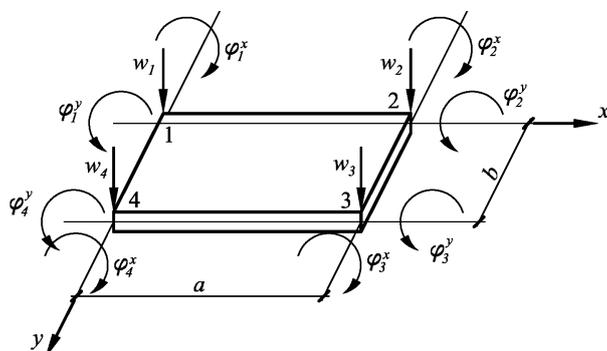


Рисунок 2 - Прямоугольный изгибаемый элемент

В каждом узле такого элемента имеется 3 степени свободы: прогиб w_i и 2 угла поворота φ_i^x и φ_i^y . В качестве функции, аппроксимирующей прогиб, выберем полином с 12 неопределенными коэффициентами по общему числу возможных перемещений в элементе:

$$w(x) = f_1 + f_2 x + f_3 y + f_4 x^2 + f_5 y^2 + f_6 xy + f_7 x^2 y + f_8 xy^2 + f_9 x^3 + f_{10} y^3 + f_{11} x^3 y + f_{12} xy^3 = \{ 1 \ x \ y \ x^2 \ y^2 \ xy \ x^2 y \ xy^2 \ x^3 \ y^3 \ x^3 y \ xy^3 \} \{f\}. \quad (12)$$

Дифференцируя (12), получим:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \{ 0 \ 1 \ 0 \ 2x \ 0 \ y \ 2xy \ y^2 \ 3x^2 \ 0 \ 3x^2y \ y^3 \} \{f\};$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \{ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 2y \ x \ x^2 \ 2xy \ 0 \ 3y^2 \ x^3 \ 3y^2x \} \{f\}.$$

Локальный вектор узловых перемещений связан с вектором коэффициентов следующим образом:

$$\{U\}^{(e)} = \begin{pmatrix} w_1 \\ \varphi_1^x \\ \varphi_1^y \\ w_2 \\ \varphi_2^x \\ \varphi_2^y \\ w_3 \\ \varphi_3^x \\ \varphi_3^y \\ w_4 \\ \varphi_4^x \\ \varphi_4^y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & 0 & a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & a^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & 0 & 0 & 0 & 0 & 3a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & a & a^2 & 0 & 0 & 0 & a^3 & 0 \\ 1 & a & b & a^2 & b^2 & ab & a^2b & ab^2 & a^3 & b^3 & a^3b & ab^3 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & 0 & b & 2ab & b^2 & 3a^2 & 0 & 3a^2b & b^3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2b & a & a^2 & 2ab & 0 & 3b^2 & a^3 & 3ab^2 \\ 1 & 0 & b & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & b^3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & b & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 & b^3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2b & 0 & 0 & 0 & 0 & 3b^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \\ f_7 \\ f_8 \\ f_9 \\ f_{10} \\ f_{11} \\ f_{12} \end{pmatrix} = [C] \cdot \{f\}.$$

Тогда $\{f\} = [C]^{-1} \cdot \{U\}^{(e)}$.

Потенциальная энергия деформации запишется в виде:

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_V \{\tau\}^T \{\gamma^{el}\} dV,$$

где $\{\tau\} = \begin{pmatrix} \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \end{pmatrix}$ — вектор касательных напряжений в заполнителе; $\{\gamma^{el}\} =$

$\begin{pmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \gamma_{xz}^* \\ \gamma_{yz}^* \end{pmatrix}$ — вектор упругих деформаций в заполнителе; $\begin{pmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial y} \end{pmatrix}$.

Касательные напряжения в заполнителе определяются следующим образом:

$$\{\tau\}^T = \{\gamma^{el}\}^T [D] = \left(\begin{pmatrix} \frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial y} \end{pmatrix}^T - \begin{pmatrix} \gamma_{xz}^* \\ \gamma_{yz}^* \end{pmatrix}^T \right) \cdot [D] \tag{13}$$

$$= (\{U\}^T [C]^{-1T} [B]^T - \{\gamma^*\}^T) \cdot [D],$$

где $[D] = G_3 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$;

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 2x & 0 & y & 2xy & y^2 & 3x^2 & 0 & 3x^2y & y^3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2y & x & x^2 & 2xy & 0 & 3y^2 & x^3 & 3y^2x \end{bmatrix}.$$

С учетом (13) потенциальная энергия деформации примет вид:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} h \int_0^a \int_0^b (\{U\}^T [C]^{-1T} [B]^T [D] - \{\gamma^*\}^T [D]) \cdot ([B][C]^{-1}\{U\} - \{\gamma^*\}) dydx \\ &= \frac{1}{2} h \{U\}^T [C]^{-1T} \int_0^a \int_0^b [B]^T [D] [B] dydx \cdot [C]^{-1} \{U\} \\ &\quad - \{U\}^T [C]^{-1T} h \int_0^a \int_0^b [B]^T dydx \cdot [D] \cdot \{\gamma^*\} \\ &\quad + \frac{h}{2} \int_0^a \int_0^b \{\gamma^*\}^T [D] \{\gamma^*\} dydx. \end{aligned}$$

Минимизируя потенциальную энергию по узловым перемещениям, получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial \{U\}} &= h [C]^{-1T} \int_0^a \int_0^b [B]^T [D] [B] dydx \cdot [C]^{-1} \{U\} \\ &\quad - [C]^{-1T} h \int_0^a \int_0^b [B]^T dydx \cdot [D] \cdot \{\gamma^*\} = [K] \cdot \{U\} - \{F^*\}, \end{aligned}$$

где $[K] = h [C]^{-1T} \int_0^a \int_0^b [B]^T [D] [B] dydx \cdot [C]^{-1}$ — матрица жесткости; $\{F^*\}$ — вклад деформаций ползучести в вектор нагрузки.

Матрица жесткости при расчете с учетом ползучести не отличается от упругой. После интегрирования получим:

$$= G_3 h \begin{bmatrix} -\frac{b}{2} & 0 & -\frac{b^2}{12} & \frac{b}{2} & 0 & \frac{b^2}{12} & \frac{b}{2} & 0 & -\frac{b^2}{12} & -\frac{b}{2} & 0 & \frac{b^2}{12} \\ -\frac{a}{2} & -\frac{a^2}{12} & 0 & -\frac{a}{2} & \frac{a^2}{12} & 0 & \frac{a}{2} & -\frac{a^2}{12} & 0 & \frac{a}{2} & \frac{a^2}{12} & 0 \end{bmatrix}^T \{\gamma^*\}.$$

Была решена задача для шарнирно опертой по контуру пластинки размерами 3×3 м, загруженной равномерно распределенной по площади нагрузкой $q = 2$ кПа при следующих исходных данных: $h = 80$ мм, $t = 1.5$ мм, $G_3 = 2.5$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Для такой пластинки $\frac{G_3 l^2}{Eht} = 0.94$.

В качестве уравнения связи деформаций и напряжений был выбран следующий закон деформирования:

$$G_3 \gamma_i = \tau_i + \int_{-\infty}^t \tau_i K(t - \tau) d\tau, \quad i = (xz, yz). \quad (14)$$

Ядро ползучести было принято в виде:

$$K(t - \tau) = C_3 e^{-\alpha_3(t-\tau)}; \quad C_3 = \alpha_3 = 0.077 \frac{1}{\text{час}}$$

При таком ядре уравнение (14) может быть представлено в дифференциальной форме:

$$G_3 \frac{\partial \gamma_i}{\partial t} + G_3 \alpha_3 \gamma_i = \frac{\partial \tau_i}{\partial t} + (\alpha_3 + c_3) \tau_i.$$

Представив полные деформации сдвига в виде суммы упругих деформаций и деформаций ползучести: $\gamma_i = \frac{\tau_i}{G_3} + \gamma_i^*$, можно получить выражения для скоростей изменения деформаций ползучести:

$$\frac{\partial \gamma_i^*}{\partial t} = \frac{c_3}{G_3} \tau_i - \alpha_3 \gamma_i^*. \quad (15)$$

Для определения деформаций ползучести в каждый момент времени применяется линейная аппроксимация [7].

На рис. 3 показан график роста прогиба в центре пластинки. Штриховой линии соответствует решение с учетом деформации обшивок, сплошной — решение только с учетом работы заполнителя на сдвиг. При $t = 0$ прогибы отличаются на 8.8%, а при $t \rightarrow \infty$ — на 3.12%.

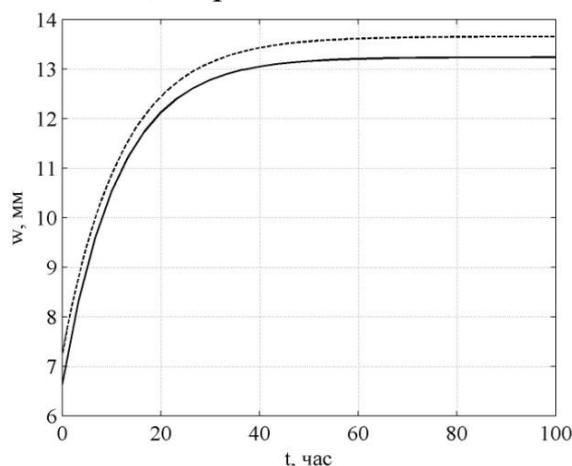


Рисунок 3 - График роста прогиба в центре пластинки

Как показал расчет, если не учитывать работу несущих слоев, то касательные напряжения в заполнителе при таком законе деформирования в процессе ползучести остаются постоянными.

Для проверки правильности решения исследуем уравнение (15) при $t \rightarrow \infty$. Так как ползучесть затухает, то скорости роста деформаций ползучести при $t \rightarrow \infty$ равны нулю: $\frac{c_3}{G_3} \tau_i - \alpha_3 \gamma_i^* = 0$, откуда можно найти предельную величину неупругой деформации:

$$\gamma_{i,пред}^* = \frac{c_3}{\alpha_3} \frac{\tau_i}{G_3} = \frac{c_3}{\alpha_3} \gamma_i^{el}.$$

Если $c_3 = \alpha_3$, то $\gamma_{i,пред}^* = \gamma_i^{el}$, значит общая деформация в конце процесса ползучести в два раза больше упругой, следовательно, прогиб должен вырасти в 2 раза, что подтверждает рис. 3.

Выводы

Преимущество предложенного метода заключается в том, что он позволяет рассчитывать на ползучесть пластинку любой конфигурации, в том числе с проемами и отверстиями. Кроме того, как правило, продольные края реальных трехслойных панелей снабжены упругими ребрами или специальным обрамлением, учесть работу которого можно только при помощи метода конечных элементов.

Библиографический список:

1. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. – 752 с.
2. Качанов Л.М. Теория ползучести. М.: Физматгиз, 1960. – 680с.
3. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М.: Изд-во Технико-теоретической литературы, 1956 - 419с.
4. Рабинович А.Л. Введение в механику армированных полимеров. М.: Наука, 1970. – 482 с.
5. Мартемьянов В.И. Осетинский Ю.В. Трехслойные строительные конструкции. Учебное пособие. Ростов-на-Дону, Рост. инж.-строит. ин-т, 1977. – 109 с.
6. Осетинский Ю.В. Ползучесть полой трехслойной оболочки//Облегченные конструкции покрытий зданий. Сборник статей. Ростов-на-Дону, 1976, с.62-77.
7. Vladimir I. Andreev, Batyr M. Yazyev, Chepurnenko Anton S. On the Bending of a Thin Plate at Nonlinear Creep//Advanced Materials Research Vol. 900, 2014 – p. 707-710. Trans Tech Publications, Switzerland.
8. Гаврилов А.К., Осетинский Ю.В. Расчет трехслойной пластинки с учетом ползучести среднего слоя//Расчет оболочек и пластин: Сб. научн. тр. Ростов-на-Дону, 1975. – с. 85-90.
9. Garrido M., Correia J., Branco F. Creep behavior of sandwich panels with rigid polyurethane foam core and glass-fibre reinforced polymer faces: Experimental tests and analytical modeling//Journal of Composite Materials. – 2013. – с. 21-28.

УДК 539.3

Устарханов О.М., Алибеков М.С., Устарханов Т.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Ustarkhanov O.M., Alibekov M.S., Ustarkhanov T.O.

RESEARCH OF PARAMETERS PRISMATIC PLACEHOLDER WITH THE STATIC LOADING

Работа посвящена экспериментальным исследованиям параметров призматического заполнителя при статическом нагружении. Данные экспериментальные исследования позволяют использовать их при проектировании трехслойных конструкций в космической, авиационной технике, а так же в строительстве и машиностроении, что представляет интерес для инженерно-технических работников и проектировщиков.

Ключевые слова: конический заполнитель, статическое нагружение, сжатие, сдвиг

The work is devoted to experimental research of parameters of prismatic aggregate at static loading. The data of experimental researches allow to use them in the design of three-layer structures in space, aviation techniques, as well as in construction and machinery that is of interest for technical workers and designers.

Key words: prismatic placeholder, static loading, compression, shear.

Для проверки теоретических зависимостей прочности, модуля упругости и сдвига, описывающих эти параметры, проведено экспериментальное исследование прочности образцов дискретного усиленного призматического заполнителя.

В настоящее время накоплен значительный опыт испытаний дискретных заполнителей. Стандартом установлены геометрические и прочностные параметры, методы изготовления, обработки и испытания клеевых сотовых заполнителей с шестигранной формой ячейки и сот [1]. При постановки эксперимента призматическим заполнителем можно использовать этот опыт с учётом ряда особенностей, определяемых сложной дискретной пространственной структурой заполнителя и способа их изготовления.

Для определения модуля упругости и предела прочности на сжатие были изготовлены образцы призматического заполнителя, квадратные в плане. Поперечное сечение образца включало 16 ячеек [2].

В качестве материала заполнителя были взяты алюминиевая фольга толщиной $t_{ct} = 0,1$ мм и алюминий Д-19 толщиной $t_{ct} = 0,1$ мм. Испытанию подвергались три серии образцов соответственно с размерами основания 2×2 ; 3×3 ; 4×4 см и высотой 4; 5; 6 см. В каждой серии испытывалось по 6 образцов. При испытании образцы устанавливались на нижнюю плиту разрывной машины Р-10. Известно, что у машин такого типа имеет место большая погрешность отсчёта сжимающего усилия на границах поддиапазонов. В связи с этим, сжимающая сила измерялась при помощи дополнительных тензодатчиков, которые располагались на диаметрально противоположных сторонах силового датчика, изготовленного из алюминиевого цилиндра, диаметром 76мм и толщиной стенки 0,5 мм. Высота цилиндра равнялась 10 см. Этот цилиндр размещался между испытуемым образцом и верхней нагрузочной плитой разрывной машины. Датчики подключались по мостовой схеме к усилителю «Топаз-3», к выходу которого подключался самописец «Эндим 621.02». Калибровка измерительного устройства осуществлялась при помощи динамометра ДОС-3. Одновременно с этим производилась калибровка датчика перемещения. Датчик перемещений изготовлен на основе индикатора перемещений типа ИЧ установленного на жестком основании. На том же основании крепилась упругая пластина с тензодатчиками, которая находилась в непосредственном контакте со штоком индикатора. Регистрация перемещений осуществлялась самописцем «Эндим 621.02», через усилитель «Топаз 3». Таким образом, в ходе испытаний непрерывно измерялись величина сжимающей силы P и деформации заполнителя в направлении оси Z см. [2]. Общий вид установки на сжатие приведён на рис. 1. По измерённой максимальной величине сжимающей силы рассчитывался предел прочности на сжатие σ_{z3} по формуле (1):

$$\sigma_{z3} = \frac{P_{\max}}{F}, \quad (1)$$

Где $F=16(a \times a)$ - площадь поперечного сечения образца в плоскости XOY .

Эта величина сравнивалась с расчётной величиной предела прочности на сжатие, определяемого по формуле (2):

$$\sigma_{z3} = K_{np} \sigma_{кр}, \quad (2)$$

где:

$$\sigma_{кр} = 0.487 \frac{\pi^2 E M_3}{1 - \nu^2} \left(\frac{2t_{ct}}{b} \right)^2 \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$K_{np} = \frac{4t_{ct}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c} \right)^2}.$$

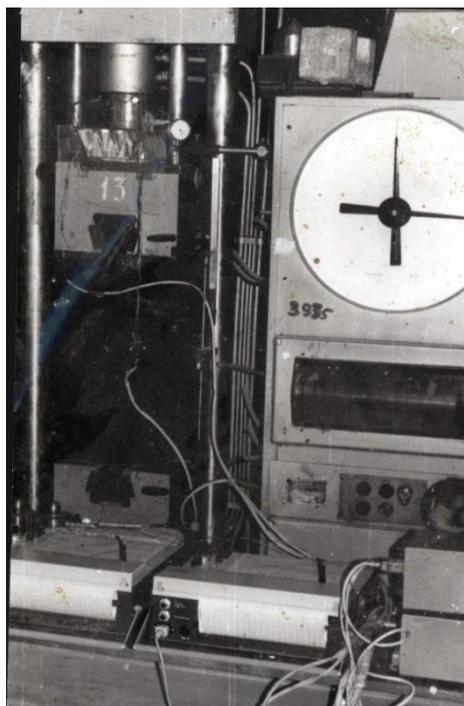


Рисунок 1 - Общий вид установки для испытаний на сжатие

Зависимость деформации заполнителя ΔW от величины сжимающей силы P позволяет определить модуль сжатия заполнителя.

$$E_{z_3} = \frac{P \cdot C}{F \Delta \omega} \quad (3)$$

Теоретическое значение величины модуля при сжатии:

$$E_{z_3} = 4E_{m3} \frac{t_{ct}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c}\right)^2} \quad (4)$$

Здесь E_{m3} – модуль Юнга материала заполнителя;

σ_{m3} – модуль сдвига материала заполнителя;

ν – коэффициент Пуассона материала заполнителя;

t_{ct} – толщина стенки конического заполнителя;

a – дна стороны основания пирамидального заполнителя;

c – высота заполнителя;

ΔW – сближение несущих слоев по нормали к срединной поверхности заполнителя;

На рис. 2 показаны испытания образцов дискретного конического заполнителя на сжатие.

Сравнение данных теоретических исследований с экспериментальными, при сжатии образцов приведены в таблице 1.

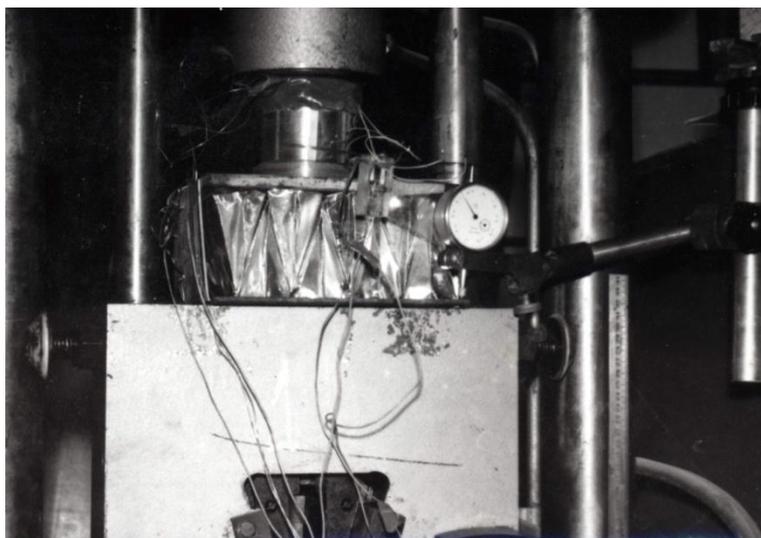


Рисунок 2 - Испытание конического заполнителя на сжатие

Для экспериментального исследования заполнителя на сдвиг образцы испытывались на установке показанной на рис. 3.

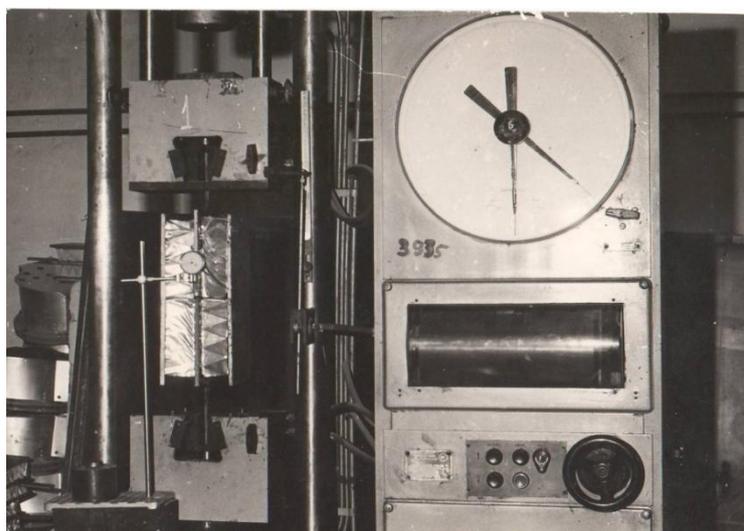


Рисунок 3 - Общий вид установки для испытания на сдвиг

Геометрические характеристики выбраны согласно рекомендаций, приведенных в [2]. Вид образца, испытываемого на сдвиг, показан на рис.4.

Образцы для испытаний на сдвиг изготавливались из тех же материалов, что и образцы для испытаний на сжатие. Были изготовлены и испытаны три серии образцов. При испытании между образцом и верхним захватом устанавливался тот же цилиндр с тензодатчиками, что и при испытании на сжатие и тот же датчик перемещений. Калибровка датчика растягивающей силы осуществлялась динамометром ДОР-3. В ходе испытаний измерялись величина растягивающей силы P и расстояние между средними пластинами Δ в направлении оси X .

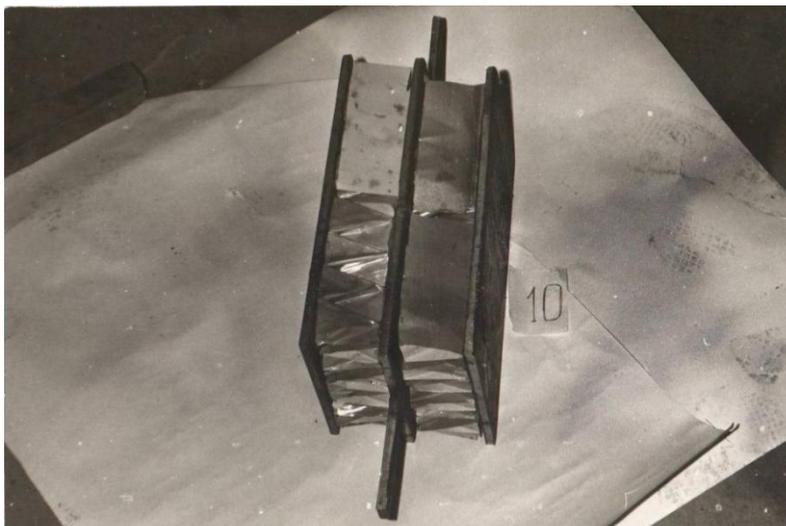


Рисунок 4 - Вид образца испытываемого на сдвиг

По измеренной предельной растягивающей силе P_{np} рассчитывался предел прочности при сдвиге по формуле (5):

$$\tau_{xoz_3} = \frac{P_{np}}{4F} \quad (5)$$

Эта величина сравнивалась с расчетной величиной предела прочности при сдвиге, определенного по формуле:

$$\tau_{xoz} = K_3 K_2 \frac{\pi D}{a^2 2t} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

где $K_3 = \frac{3t_{cm}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c}\right)^2}$, K_2 - в зависимости от соотношения сторон ромбовидного элемента заполнителя и способов опирания этого элемента принят равным для высоты заполнителя: $C=4$ см., $K_2=7.95$; $C=5$ см., $K_2=7.75$; $C=6$ см., $K_2=7.6$;

Зависимость перемещения Δ от величины растягивающей силы позволяет определить модуль сдвига заполнителя в плоскости XOZ.

$$G_{xoz_3} = \frac{P \cdot C}{\Delta F}, \quad (7)$$

Теоретическое значение модуля сдвига заполнителя в плоскости XOZ равно:

$$G_{xoz_3} = G_{M3} \frac{3t_{cm}}{a} \sqrt{4 + \left(\frac{a}{c}\right)^2}. \quad (8)$$

Сравнительные данные расчетных и экспериментальных значений при сдвиге приведены в таблице 2. На рис 5 результаты экспериментальных данных показаны в графическом виде.

Анализ табличных данных показывает, что расхождение значений параметров, определенных из теоретических зависимостей с экспериментальными данными не превышает 20%.

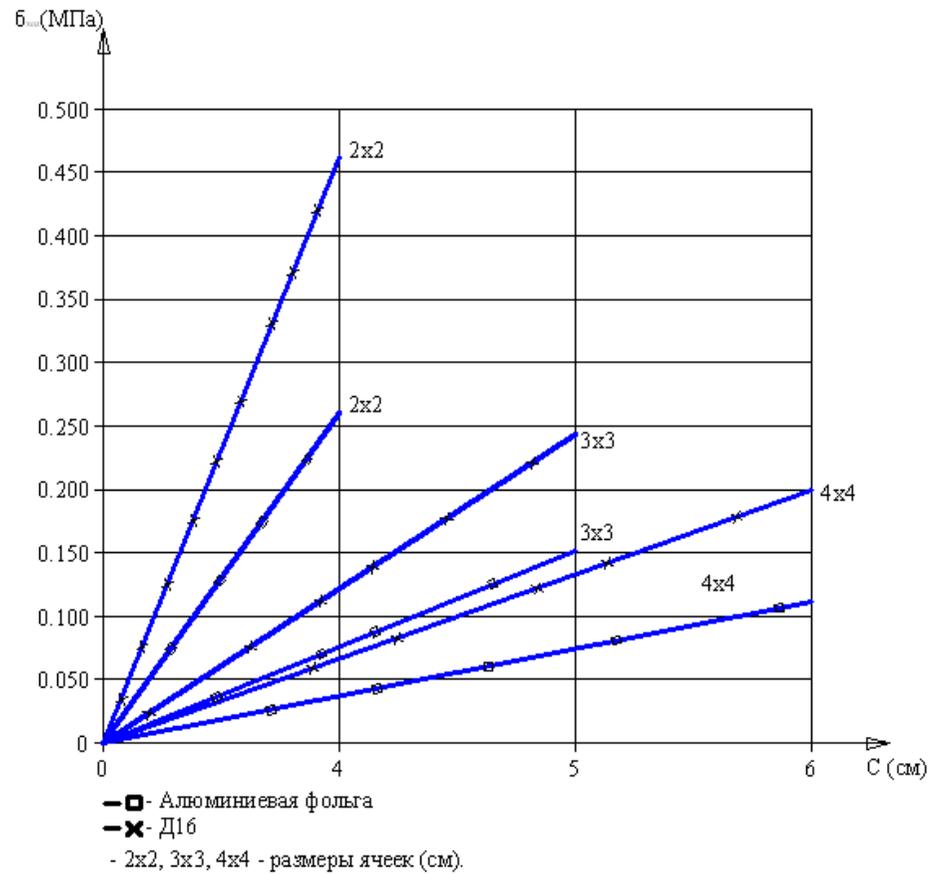
Таблица 1 - Теоретические и экспериментальные характеристики прочности призматического заполнителя при сжатии

№ варианта заполнителя	Геометрические размеры			Предел прочности заполнителя на сжатие, эксперимент., $\sigma_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Предел прочности заполнителя на сжатие, теоретич., $\sigma_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %	Приведенный модуль упругости заполнителя на сжатие эксперимент., $E_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Приведенный модуль упругости заполнителя на сжатие теоретич., $E_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %
	ах (см ²)	с (см)	t (см)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алюминиевая фольга									
1	2x2	4	1.10 ⁻²	0.259	0.318	18.5	1603.6	2004.5	20
2	3x3	5	1.10 ⁻²	0.152	0.122	20.1	1228	1497.6	18
3	4x4	6	1.10 ⁻²	0.112	0.094	15.4	1202.3	1484.3	19
Д-16									
1	2x2	4	1.10 ⁻²	0.462	0.549	15.9	1936.5	2405.6	19.5
2	3x3	5	1.10 ⁻²	0.243	0.211	13.2	1671.4	1797.2	7
3	4x4	6	1.10 ⁻²	0.199	0.16	19.4	1585.3	1781.2	11

Таблица 2 - Теоретические и экспериментальные характеристики прочности призматического заполнителя при сдвиге

№ варианта заполнителя	Геометрические размеры			Предел прочности заполнителя на сдвиг, эксперимент., $\sigma_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Предел прочности заполнителя на сдвиг, теоретич., $\sigma_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %	Приведенный модуль упругости заполнителя на сдвиг эксперимент., $E_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Приведенный модуль упругости заполнителя на сдвиг теоретич., $E_{\text{хоз3}}$ (МПа)	Расхождения между теоретич. и эксперимент. данными %
	ах (см ²)	с (см)	t (см)						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алюминиевая фольга									
1	2x2	4	1.10 ⁻²	0.145	0.163	10.4	479.3	563.8	15
2	3x3	5	1.10 ⁻²	0.060	0.061	2.1	370.9	421.2	12
3	4x4	6	1.10 ⁻²	0.0575	0.058	1.2	348.6	417.5	16.5
Д-16									
1	2x2	4	1.10 ⁻²	0.222	0.261	14.7	554.7	676.5	18
2	3x3	5	1.10 ⁻²	0.112	0.106	5.4	419.5	505.4	17
3	4x4	6	1.10 ⁻²	0.102	0.101	1.1	440.9	500.9	12

при сжатии



при сдвиге

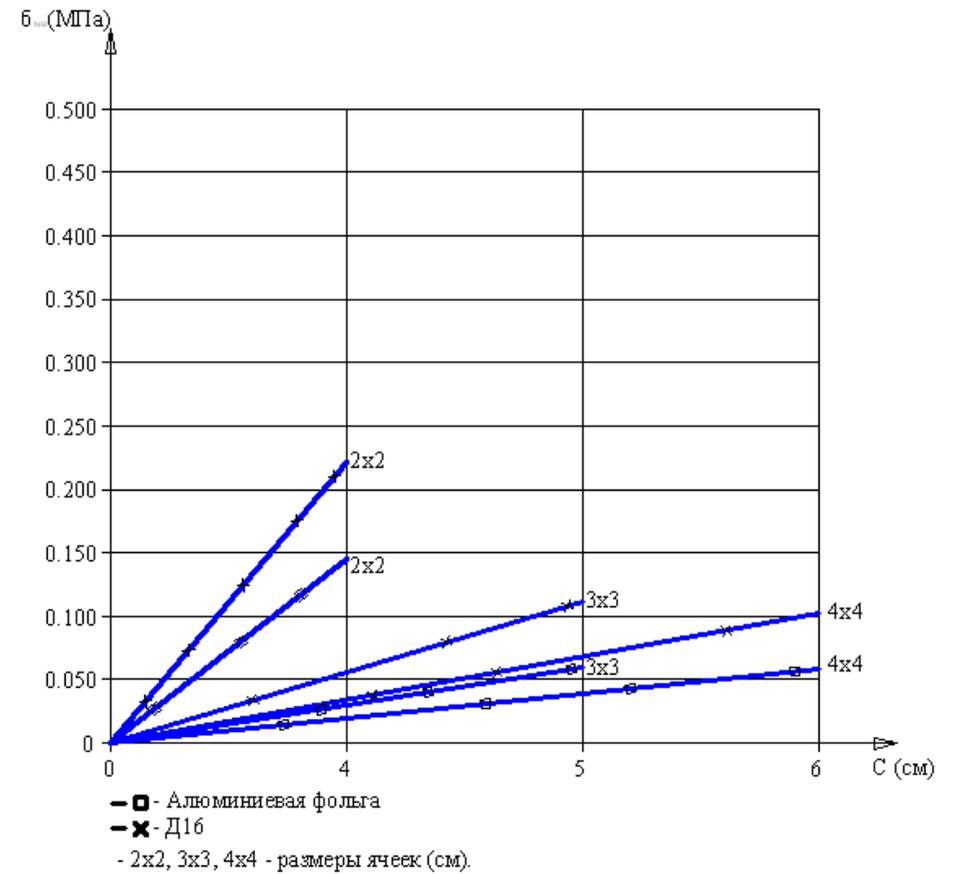


Рисунок 5 - Графики экспериментальных исследований

Библиографический список:

1. Ендогур А.И., Вайнберг М.В., Иерусалимский К.М. Сотовые конструкции. М.: Машиностроение, 1986, 200 с.
2. Благов В.А., Калмычков А.Н., Кобелев В.Н., Прохоров Б.Ф. Лёгкие судовые конструкции из пластмасс. Л., «Судостроение», 1969, 264 с.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 664.8036:62

Демирова А.Ф., Ахмедов М.Э., Пиняскин В.В., Шихалиев С.С., Загиров Н.Г.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМОВ СТУПЕНЧАТОЙ ТЕПЛОВОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ «ТОМАТЫ МАРИНОВАННЫЕ» В СТАТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ БАНОК

Demirova A.F., Akhmedov M.E, Pinyaskin V.V., Shikhaliyev S. S. Zagirov N.G.

THE EFFECTIVENESS OF SPEED MODES OF THERMAL STERILIZATION OF CANNED FOOD «TOMATOES MARINADED» IN A STATIC STATE CANS

Проведены исследования по разработке энергосберегающих режимов тепловой стерилизации консервов «Томаты маринованные» с использованием ступенчатой стерилизации в статическом состоянии банок. Предложена формула для выражения режимов ступенчатой тепловой стерилизации консервируемых продуктов в статическом состоянии. Разработаны режимы стерилизации для консервов «Томаты маринованные» в банках объемом 0,5, 1,0 и 2,0 л.

Ключевые слова: *эффективность, стерилизация, режим стерилизации, продолжительность, томаты маринованные, график прогреваемости, стерилизующий эффект.*

Conducted research on the development of energy-saving modes of thermal sterilization of canned food "Tomatoes marinated" using speed sterilization static cans. The proposed formula for expressing the speed modes of thermal sterilization of conserved products instatic state. Developed modes of sterilization of canned food "Tomatoes marinated in banks by the volume of 0.5, 1.0, and 2,0 l

Key words: *efficiency, sterilization, mode sterilization, duration, pickled tomatoes, schedule progresemos, sterilizing effect.*

Энергоэффективность и энергосбережение входят в число пяти стратегических направлений развития, обозначенных Комиссией по модернизации и технологическому развитию экономики России.

В настоящее время энергосберегающие технологии являются одним из ключевых направлений развития энергетической политики страны. Так

как перерабатывающая промышленность характеризуется высокой энергоёмкостью, необходимыми мерами по обеспечению экономии энергии являются ликвидация технологической отсталости промышленности на основе оснащения предприятий новым энергосберегающим оборудованием и внедрением инновационных и энергоэффективных технологий.

Основной задачей процесса тепловой стерилизации при производстве консервированных продуктов является подавление жизнедеятельности микроорганизмов и обеспечение промышленной стерильности готовой продукции[1].

Поэтому, для оценки эффективности технологий производства консервированных продуктов с использованием ступенчатой тепловой обработки, нами для сравнения экспериментально исследовано температурное поле консервов при их стерилизации в автоклавах по режимам традиционной технологии[2].

Исследования прогреваемости консервированных продуктов по режимам традиционной технологии подтверждают, что для всех режимов имеет место явно выраженная неравномерность тепловой обработки, большая продолжительность тепловой обработки и огромные расходы тепловой энергии и охлаждающей воды.

Исследования прогреваемости, проведенные для консервов «Томаты маринованные» в стеклянной банке объемом 0,5 л при стерилизации в автоклаве по режиму традиционной технологии показали, что центральный и периферийные слои маринадов нагреваются неравномерно; периферийная точка получает стерилизующий эффект равный 172 усл. мин., а центральные слои 117 усл. мин. Коэффициент крайней неравномерности тепловой обработки составляет $172/117=1,5$, что ведет к перегреву периферийных слоев, и ухудшению качества готового продукта.

Нужно также отметить, что не менее существенным недостатком производства консервированных продуктов по режимам традиционной технологии с использованием тепловой стерилизации в автоклавах является большие расходы тепловой энергии и охлаждающей воды, которые обусловлены тем, что после каждого процесса стерилизации воду в автоклаве охлаждают до 40°C с последующим нагревом до температуры стерилизации и, соответственно, тепловая энергия расходуется не только на нагрев продукта, но и на периодический нагрев воды, которая в процессе последующего охлаждения сливается в канализацию.

Сущность разработанного способа производства консервируемых продуктов с использованием ступенчатой тепловой стерилизации заключается в том, что банки после укупоривания устанавливаются в носитель, обеспечивающий их механическую герметичность (предотвращение срыва крышек в процессе тепловой обработки), и последовательно подвергаются нагреву и охлаждению в различных ваннах с водой, температурами, предотвращающими их термический бой [3,4,5,6,7,8].

Характерной особенностью разработанного способа является то, что в отличие от процесса стерилизации в автоклаве, где воду в автоклаве, согласно режима стерилизации, для каждой партии консервов нагревают до температуры стерилизации и охлаждают до 40⁰С, то по данному способу температура воды поддерживается на заданных уровнях их значений постоянно, т.е. при тепловой стерилизации по предлагаемому способу расход тепла, а также воды, на периодический нагрев теплоносителя и его охлаждение отсутствует.

Прежде чем исследовать новые режимы ступенчатой тепловой стерилизации консервированных продуктов, необходимо выяснить, как лучше выразить «формулу стерилизации», так как существующие формулы не характеризуют все параметры данного способа.

При ступенчатой стерилизации консервов в статическом состоянии банок в обязательном порядке в формулу стерилизации необходимо ввести следующие параметры: температуру воды в соответствующих ваннах для нагрева $T_{н1}, T_{н2} \dots T_{н,n}$; температуру воды в соответствующих ваннах для охлаждения $T_{ох1}, T_{ох2} \dots T_{ох,n}$; продолжительности тепловой обработки консервов в ваннах для нагрева $\tau_{н1}, \tau_{н2} \dots \tau_{н,n}$ и продолжительности тепловой обработки в ваннах для охлаждения $\tau_{ох1}, \tau_{ох2} \dots \tau_{ох,n}$.

Учитывая вышесказанное, «формулу стерилизации» для ступенчатой тепловой стерилизации можно представить в следующем виде:

$$\left(\frac{\tau_{н1}}{T_{н1}} \cdot \frac{\tau_{н2}}{T_{н2}} \dots \frac{\tau_{н,n}}{T_{н,n}} \right) \cdot \left(\frac{\tau_{ох1}}{T_{ох1}} \cdot \frac{\tau_{ох2}}{T_{ох2}} \dots \frac{\tau_{ох,n}}{T_{ох,n}} \right) \quad (1)$$

где $\tau_{н1}, \tau_{н2} \dots \tau_{н,n}$ - продолжительности периода ступенчатого нагрева консервов при соответствующих температурах горячей воды $T_{н1}, T_{н2} \dots T_{н,n}$;

$\tau_{ох1}, \tau_{ох2} \dots \tau_{ох,n}$ - продолжительности периодов ступенчатого охлаждения консервов при соответствующих температурах охлаждающей воды $T_{ох1}, T_{ох2} \dots T_{ох,n}$.

При этом необходимо отметить, что количество ступеней тепловой обработки, обеспечивающих термостойкость банок, зависит как от начальной температуры продукта перед стерилизацией, так и конечной температуры стерилизации, и в зависимости от их значений количество ступеней может колебаться: для нагрева от одной до четырех; для охлаждения от двух до трех.

На рисунке 1 представлены кривые прогреваемости и фактической летальности, при ступенчатой тепловой стерилизации консервов «Томаты

маринованные» в банке объемом 0,5 л в статическом состоянии консервов «Томаты маринованные» в банке объемом 0,5 л со ступенчатым нагревом в горячей воде и с последующим ступенчатым водяным охлаждением по режиму:

$$\left(\frac{5}{70} \cdot \frac{5}{85^{\circ}C} \cdot \frac{12}{100^{\circ}C}\right) \cdot \left(\frac{5}{80^{\circ}C} \cdot \frac{5}{60^{\circ}C} \cdot \frac{5}{40^{\circ}C}\right)$$

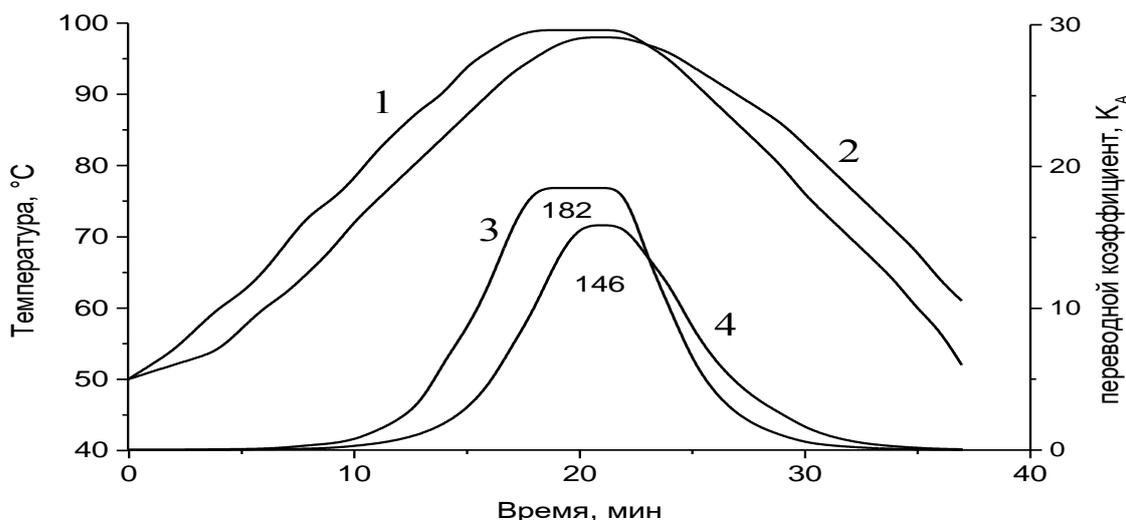


Рисунок 1 – Кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4)

Как видно из рисунка 1, режим обеспечивает промышленную стерильность готовой продукции, так как величины фактической летальности в наименее и наиболее прогреваемых точках для данного режима соответственно равны 182 усл. мин и 146 усл. мин, а сокращение продолжительности процесса стерилизации по сравнению с режимом традиционной технологии составляет 18 минут.

На рисунке 2 показаны кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) центрального (2,4) и периферийного (1,3) слоев консервов «Томаты маринованные» при ступенчатой стерилизации их в стеклянной банке объемом 1,0 л по режиму:

$$\left(\frac{5}{70^{\circ}C} \cdot \frac{5}{85^{\circ}C} \cdot \frac{15}{100^{\circ}C}\right) \cdot \left(\frac{5}{80^{\circ}C} \cdot \frac{5}{60^{\circ}C} \cdot \frac{5}{40^{\circ}C}\right)$$

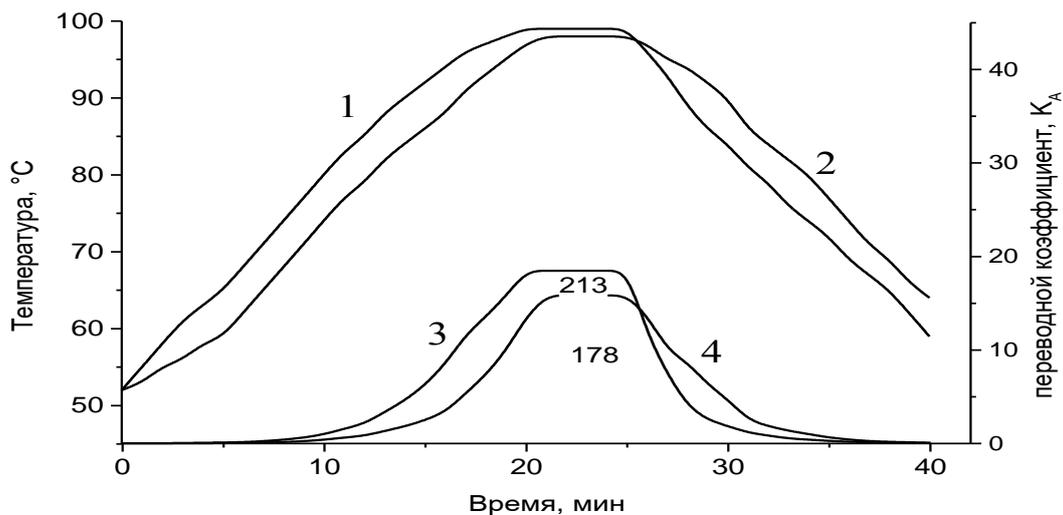


Рисунок 2 – Кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) в наиболее (1,3) и наименее (2,4) прогреваемых точках банки объемом 1,0 л при ступенчатой тепловой стерилизации консервов «Томаты маринованные» в статическом состоянии

Из рисунка 2 видно, что продолжительность процесса тепловой обработки по сравнению с режимом традиционной технологии сокращается на 15 минут и данный режим обеспечивает требуемую летальность, т.к. фактическая летальность периферийного слоя равна 213 усл. мин, а центрального - 178 усл. мин.

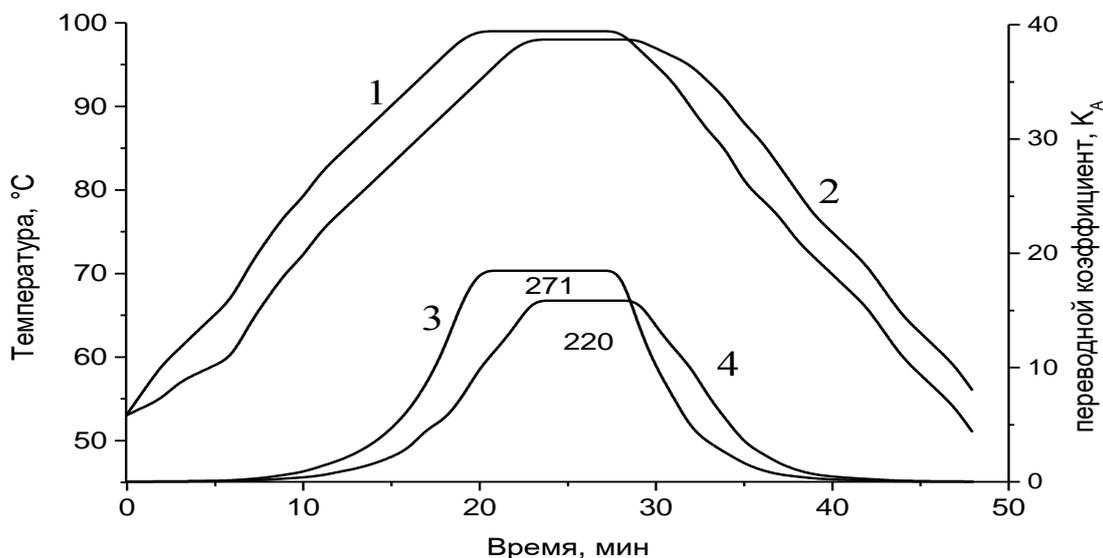


Рисунок 3 – Кривые прогреваемости(1,2) и фактической летальности (3,4) в наиболее (1,3) и наименее (2,4) прогреваемых точках банки объемом 2,0 л при ступенчатой тепловой стерилизации консервов «Томаты маринованные» в статическом состоянии

На рисунке 3 показаны кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) центрального (2,4) и периферийного (1,3) слоев консервов «Томаты маринованные» при ступенчатой стерилизации их в стеклянной банке объемом 2,0 л по режиму:

$$\left(\frac{7}{70^{\circ}C} \cdot \frac{7}{85^{\circ}C} \cdot \frac{16}{100^{\circ}C} \right) \cdot \left(\frac{7}{80^{\circ}C} \cdot \frac{7}{60^{\circ}C} \cdot \frac{7}{40^{\circ}C} \right)$$

Анализируя кривые прогреваемости и фактической летальности, можно сделать вывод, что режим обеспечивает требуемую промышленную летальность, а также сокращение продолжительности процесса тепловой обработки.

Сравнительная оценка энергоэффективности режимов ступенчатой тепловой стерилизации представлена на рисунке 4, из которого видно, что при ступенчатой тепловой стерилизации обеспечивается экономия тепловой энергии на 1 туб консервов более 100 тыс. кДж по сравнению с режимами традиционной технологии.

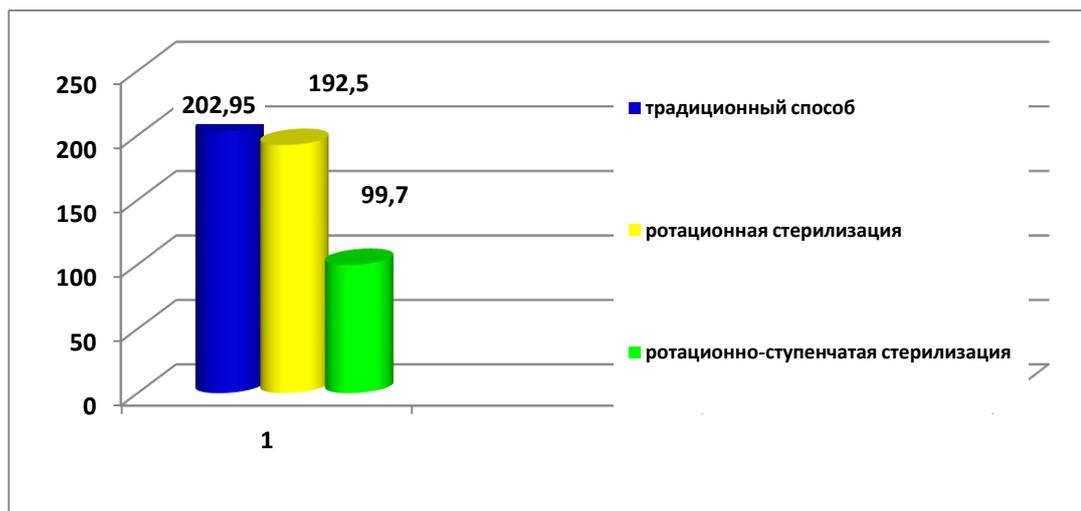


Рисунок 4 - Энергоэффективность режимов тепловой стерилизации консервов «Томаты маринованные»

Разработанные режимы ступенчатой тепловой стерилизации консервов «Томаты маринованные» можно рекомендовать для использования в производстве, как обеспечивающие промышленную стерильность готовой продукции и существенную экономию тепловой энергии и охлаждающей воды на выработку единицы продукции.

Библиографический список:

1. Флауменбаум Б.Л. Танчев С.С. Гришин М.А. «Основы стерилизации пищевых продуктов», М. Агропромиздат. 1986

2. Сборник технологических инструкций по производству консервов. Т-2, М., 1977г.
3. Демирова А.Ф. Ступенчатая стерилизация консервов./ А.Ф. Демирова // Продукты длительного хранения –2007. –№2.–С.7-8
4. Демирова, М.Э. Ахмедов, Т.А. Исмаилов Стерилизация компотов в стеклянной таре СКО 1-82-1000 со ступенчатым нагревом и охлаждением в статическом состоянии / // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 4 – С.88 – 90.
5. А.Ф. Демирова, Т.А. Исмаилов, М.Э. Ахмедов /Оптимизация режимов стерилизации консервов «Огурцы маринованные» с использованием ступенчатого нагрева // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 1. – С.73 – 75.
6. А.Ф. Демирова, Т.А. Исмаилов, М.Э. Ахмедов. Эффективность ступенчатой тепловой стерилизации консервов в стеклянной таре // Вестник Дагестанский государственный технический университет. Технические науки. – 2010. – Вып. №1 (16) – С. 152 – 156.
7. А.Ф. Демирова, М.Э. Ахмедов. Интенсификация процесса стерилизации консервов с использованием ступенчатой тепловой обработки в статическом состоянии тары // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – №1. – С. 22 – 24.
8. А.Ф. Демирова, Т.А. Исмаилов, М.Э. Ахмедов. Аппарат для ротационной стерилизации консервов с использованием ступенчатого нагрева и воздушно-водоиспарительного охлаждения // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 1. – С.82 – 84.

УДК 664.8036:62

Ахмедова М.М.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ КОНСЕРВИРОВАННОГО КОМПОТА ИЗ ГРУШ В ПОТОКЕ НАГРЕТОГО ВОЗДУХА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАГРЕВОМ ПЛОДОВ В ЭМП СВЧ

Akhmedova M.M.

HIGH-TEMPERATURE STERILIZATION OF TINNED COMPOTE FROM PEARS IN THE STREAM OF HEATED AIR WITH PRELIMINARY HEATING OF FRUITS IN EMP OF THE MICROWAVE OVEN

В работе представлены результаты исследований по совершенствованию технологического процесса производства консервированного компота из груш с использованием ЭМП СВЧ и высокотемпературной стерилизации.

На основании проведенных экспериментальных исследований и с использованием математического планирования получено уравнение аппроксимации для определения начальной температуры продукта в банке перед стерилизацией ($T, ^\circ\text{C}$), в зависимости от трёх факторов: объёма тары ($V, \text{л}$), мощности СВЧ-нагрева ($P, \text{кВт}$) и продолжительности обработки ($t, \text{с}$):

Разработаны и предложены новые режимы высокотемпературной стерилизации компота из груш в различной таре.

Ключевые слова: *компот, режим стерилизации, высокотемпературная стерилизация, математическая модель, инновационная технология, продолжительность.*

In work results of researches on improvement of technological process of production of tinned compote from pears with use of EMP microwave oven and high-temperature sterilization are presented.

On the basis of the conducted pilot researches and with use of mathematical planning the approximation equation for determination of reference temperature of a product in bank before sterilization ($T, ^\circ\text{C}$), depending on three factors is received: container volume (V, k), microwave heating capacities (P, kW) and processing durations (t, c):

New modes of high-temperature sterilization of compote from pears in various container are developed and offered.

Key words: *compote, sterilization mode, high-temperature sterilization, mathematical model, innovative technology, duration.*

Разработка и внедрение новых энергосберегающих технологий и создание высокоэффективных непрерывных процессов и аппаратов являются одними из основных задач, стоящих перед пищевой промышленностью.

Выполнение этих задач требует изыскания новых способов интенсификации процесса тепловой стерилизации консервов, как одного из энергоёмких и наиболее продолжительных процессов при производстве консервируемых продуктов.

Стерилизация консервов в настоящее время в основном осуществляется в автоклавах [1], которые обладают рядом существенных недостатков, основными из которых являются:

- большая продолжительность процесса тепловой обработки продукта;
- неравномерность тепловой обработки продукта в банках;
- большой расход тепловой энергии и воды.

Одним из эффективных и инновационных решений совершенствования технологий производства консервируемых продуктов является повышение начальной температуры продукта перед стерилизацией [2], которое отражается положительно не только на теплофизической стороне процесса стерилизации, но и на микробиологической, ибо чем выше температура продукта к началу стерилизации, тем меньше микроорганизмов в нем будет и, следовательно, возрастет эффект стерилизации.

Хотя стерилизующее воздействие на продукт оказывают как температура, так и продолжительность процесса, но вплоть до 70°C оно практически равно нулю, и этот период нагрева целесообразнее по возможности ускорить.

К тому же, можно отметить, что предварительный нагрев плодов в банках перед заливкой сиропа обеспечивает повышение температуры заливаемого в банки сиропа и тем самым способствует существенной экономии тепловой энергии, теряемой в окружающую среду в процессе охлаждения сиропа от температуры варки (100°C) до температуры заливки в банки (80°C), что составляет порядка 19300 кДж на 1 туб выпускаемой продукции.

С учетом вышесказанного, нами была исследована возможность увеличения начальной температуры продукта при производстве компота из груши, используя ЭМП СВЧ, обладающее объемным нагревом.

Пищевые продукты по своим электрическим свойствам считаются неидеальными диэлектриками, в которых при воздействии внешнего электрического поля возникают токи проводимости и смещения. Токи проводимости создаются свободными электрическими зарядами, движущимися по всему объему продукта. Токи смещения создаются связанными зарядами, способными перемещаться лишь на незначительные расстояния.

Наличие в плодах и овощах свободной воды, являющейся типичным примером полярной молекулы, является фактором, определяющим интенсивность нагрева продукта в СВЧ поле.

При воздействии СВЧ поля дипольные моменты молекул, имеющие в отсутствие поля произвольные направления, стремятся ориентироваться по направлению поля, что встречает сопротивление со стороны окружающих молекул. Работа, расходуемая на преодоление этого сопротивления, в конечном итоге превращается в теплоту, что и вызывает нагревание продукта.

Воздействие СВЧ- поля на плоды и овощи сопровождается возникновением полей температуры, влажности, механических деформаций разрушения клеток, химических реакций и т.д.

Мощность рассеивания P (кВт) в плодах и овощах, помещенных в СВЧ - камеру, можно определить из уравнения:

$$P = 2nfc \cdot u^2 \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (1)$$

Эту формулу можно преобразовать и получить уравнение, характеризующее удельную мощность $P_{уд}$ (кВт/м²), рассеиваемую в объекте:

$$P_{уд} = 0,56 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon \cdot tg \delta \cdot 10^{-9} \quad (2)$$

где: E – градиент напряжения, кВ/см;
 f - частота тока, Гц;
 ε - диэлектрическая проницаемость плодов и овощей;
 $tg \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь, показывающих уровень поглощаемой дозы в объекте

Из уравнения (1) следует, что мощность рассеивания в плодах и овощах прямо пропорциональна квадрату градиента напряжения, частоте ЭМП, произведению ε на $tg \delta$.

СВЧ энергия обладает тем преимуществом перед традиционными способами нагрева, что тепло передается сразу и одновременно всему продукту, как находящемуся в центре, так и продукту, расположенному у стенок банки, если банки расположены соответствующим образом в СВЧ – поле. Поэтому нагрев содержимого банки до необходимой температуры происходит за считанные секунды, в десятки раз быстрее, чем при обычных способах нагрева.

В этой связи, для увеличения начальной среднеобъемной температуры консервов перед стерилизацией, был предложен и исследован способ обработки плодов залитых сиропом в банках перед их герметизацией, СВЧ энергией [3].

Консервируемые продукты обрабатывали в СВЧ устройстве [4], где с помощью магнетрона возбуждается электромагнитное поле частотой 2400 ± 50 МГц. Устройство снабжено реле времени, обеспечивающим заданный режим, и СВЧ камерой (резонатором), куда помещали исследуемые банки с продуктом. После воздействия СВЧ энергии, в банки заливали сироп, после чего банки герметизировали и выдерживали в течение времени, допускаемого между укупоркой и стерилизацией, предусмотренной технологической инструкцией. Были замерены температуры в наименее прогреваемых точках продуктов в контрольных и экспериментальных образцах.

Результаты экспериментов по прогреваемости некоторых консервов представлены в таблице 1.

Для практической реализации данного способа разработана конструкция СВЧ -устройства для нагрева и пастеризации консервов [4].

Полученные экспериментальные данные достаточно убедительно показывают, что использование предварительного нагрева плодов в СВЧ-поле обеспечивает повышение начальной температуры продукта на $20-23^{\circ}\text{C}$ по сравнению с традиционной технологией.

Таблица 1 - Результаты прогреваемости плодов груши в СВЧ-поле

Наименование консервов	Наименование тары	Продолжительность обработки, с	Начальная температура продукта в банке перед стерилизацией, °С	
			с предварительным нагревом в СВЧ-поле	по действующей технологической инструкции
Компот груш	1-82-350	60	70	48
	1-82-500	90	70	50
	1-82-1000	120	75	52

На основании проведенных экспериментальных исследований и с использованием математического планирования получено уравнение аппроксимации для определения начальной температуры продукта в банке перед стерилизацией ($T, ^\circ\text{C}$), в зависимости от трёх факторов: объёма тары ($V, \text{л}$), мощности СВЧ-нагрева ($P, \text{кВт}$) и продолжительности обработки ($t, \text{с}$):

$$T = 57,2 - 11,29V - 10,29P - 0,06t + 28,85VP + 0,55Vt + 0,08Pt \quad (4)$$

Среднее квадратичное отклонение теоретических значений температуры от экспериментальных составляет 1,68.

Для практической реализации этого способа разработана конструкция устройства для предварительного подогрева плодов и овощей в банках в СВЧ-поле.

Для сравнительной оценки эффективности предлагаемой технологии производства нами предварительно были проведены экспериментальные исследования консервов по режиму традиционной технологии, которые подтвердили ее общеизвестные недостатки, в первую очередь большая продолжительность тепловой обработки, которая составляет 80 мин и неравномерность тепловой обработки отдельных слоев продукта, вследствие которой, часть продукта, расположенная в периферийной зоне получает излишнее, в несколько раз тепловое воздействие.

На рисунке 1 представлены кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) в наиболее и наименее прогреваемых точках банки объемом 1,0 л при высокотемпературной тепловой стерилизации с вращением банки консервов «Компот из груш» с предварительным нагревом плодов используя ЭМП СВЧ по режиму:

$$80 \cdot \frac{8}{150(8,0)} \cdot \frac{7}{100} \cdot \frac{15}{20(8,0)} \cdot 0,16$$

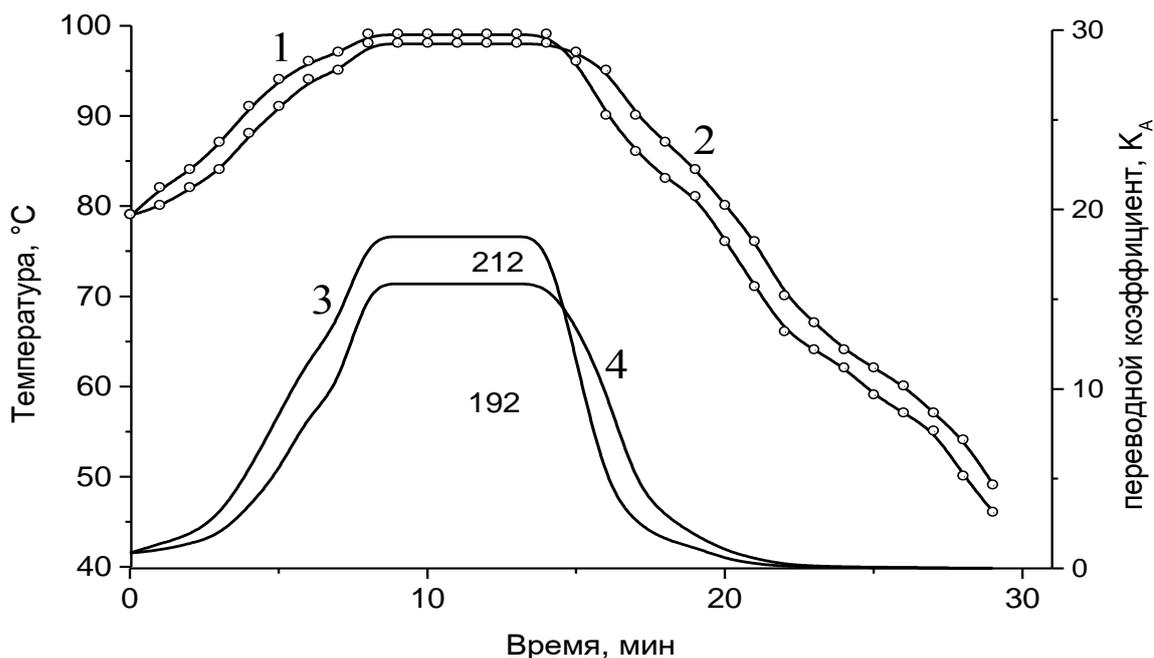


Рисунок 1 – Кривые прогреваемости и фактической летальности в наиболее (1,3) и наименее (2,4) прогреваемых точках банки объемом 1,0 л при ступенчатой ротационной стерилизации ($n=16$ об/мин) консервов «Компот из груш» с предварительным нагревом плодов в ЭМП СВЧ

Анализ кривых фактической летальности микроорганизмов (3,4), представленных на рисунке 1 показывает, что режим обеспечивает требуемый уровень промышленной летальности, так как величины стерилизующих эффектов превышает требуемое значение, равное 150-200 усл. мин[2]. Начальная температура консервов «Компот из груш» после обработки плодов ЭМП СВЧ мощностью 700 Вт и продолжительностью - 120 сек в банках 1-82-1000 достигает 79°C , а по действующей технологии 50°C . Процесс тепловой обработки сокращается по сравнению режимом с традиционной технологии на 50 минут.

На рисунке 2 представлены кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) в наиболее и наименее прогреваемых точках банки объемом 0,5 л при высокотемпературной тепловой стерилизации в потоке нагретого воздуха с вращением банки консервов «Компот из груш» с предварительным нагревом плодов в ЭМП СВЧ (мощность 700Вт, продолжительность – 120 сек) по режиму:

$$94 \cdot \frac{3}{150(8,0)} \cdot \frac{7}{100} \cdot \frac{12}{20(8,0)} \cdot 0,13$$

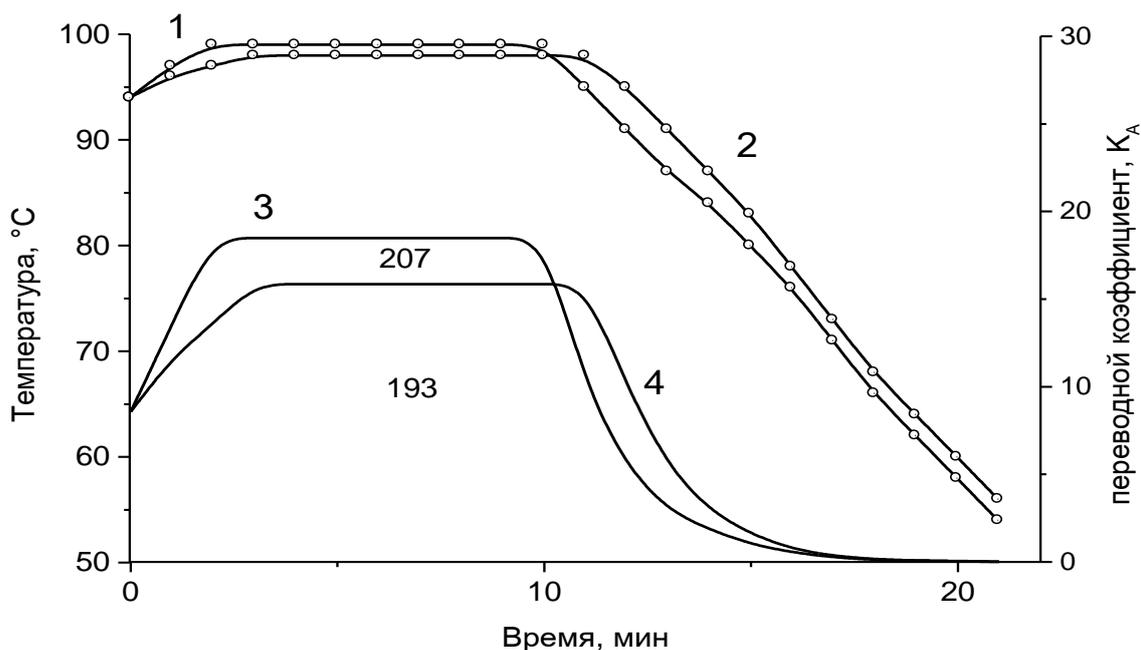


Рисунок 2 – Кривые прогреваемости (1,2) и фактической летальности (3,4) в наиболее (1,3) и наименее (2,4) прогреваемых точках банки объемом 0,5 л при ступенчатой стерилизации консервов «Компот из груш» с предварительным подогревом плодов в ЭМП СВЧ

Как видно из рисунка, начальная температура консервов «Компот из груш» в банках объемом 0,5 л после обработки плодов в ЭМП СВЧ мощностью 700 Вт в течение 120 с достигает 94⁰С, а по действующей технологии 50⁰С. За 3 минуты температура в центре банки при начальной температуре 94⁰С достигается 99⁰С.

Продолжительность процесса тепловой обработки по сравнению с режимом традиционной технологии сокращается на 38 минут, а величины стерилизующих эффектов центральной и периферийной точек свидетельствуют о том, что режим обеспечивает выпуск качественной продукции, удовлетворяющей требованиям промышленной стерильности и микробиологической безопасности.

На рисунке 3 показаны кривые прогреваемости и фактической летальности в наиболее и наименее прогреваемых точках банки объемом 0,65 л при высокотемпературной тепловой стерилизации с вращением банки консервов «Компот из груш» с предварительным нагревом плодов и овощей используя ЭМП СВЧ по режиму:

$$90 \cdot \frac{5}{150(8,0)} \cdot \frac{7}{100} \cdot \frac{15}{20(8,0)} \cdot 0,15.$$

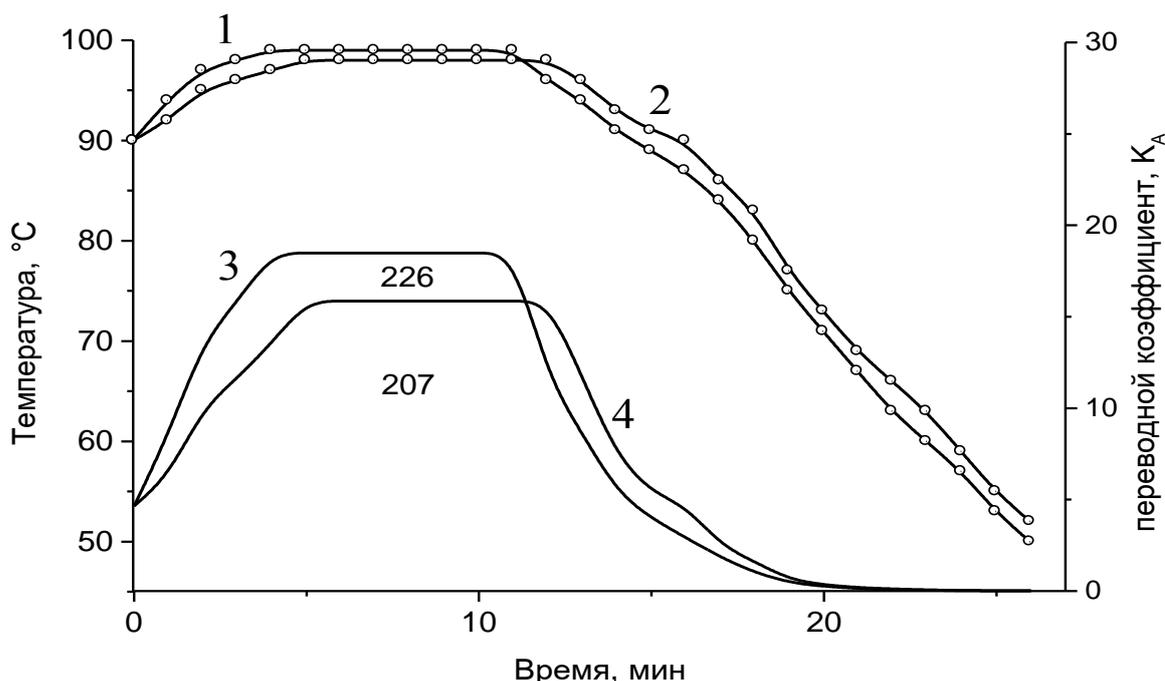


Рисунок 3 – Кривые прогреваемости и фактической летальности в наиболее и наименее прогреваемых точках банки объемом 0,65 л при ротационной ступенчатой стерилизации консервов «Компот из груш» с предварительным нагревом плодов в ЭМП СВЧ

Как видно из анализа кривых прогреваемости и фактической летальности, представленных на рисунке 3, режим обеспечивает требуемую летальность, обеспечивающую промышленную стерильность готовой продукции. За счет повышения начальной температуры продукта до 90°C, а по действующей технологии 50°C, режим стерилизации сокращается на 33 минут по сравнению с режимом стерилизации по традиционной технологии.

На рисунке 4 представлена технологическая схема производства консервов «Компот из груш» в банке объемом 0,65 л с использованием предварительного нагрева плодов в банках в ЭМП СВЧ и высокотемпературной ротационной стерилизацией в потоке нагретого воздуха по режиму:

$$90 \cdot \frac{5}{150(8,0)} \cdot \frac{7}{100} \cdot \frac{15}{20(8,0)} \cdot 0,15.$$

Источником СВЧ-энергии служила СВЧ-печь малой мощности типа CE277/CE2774TR/.

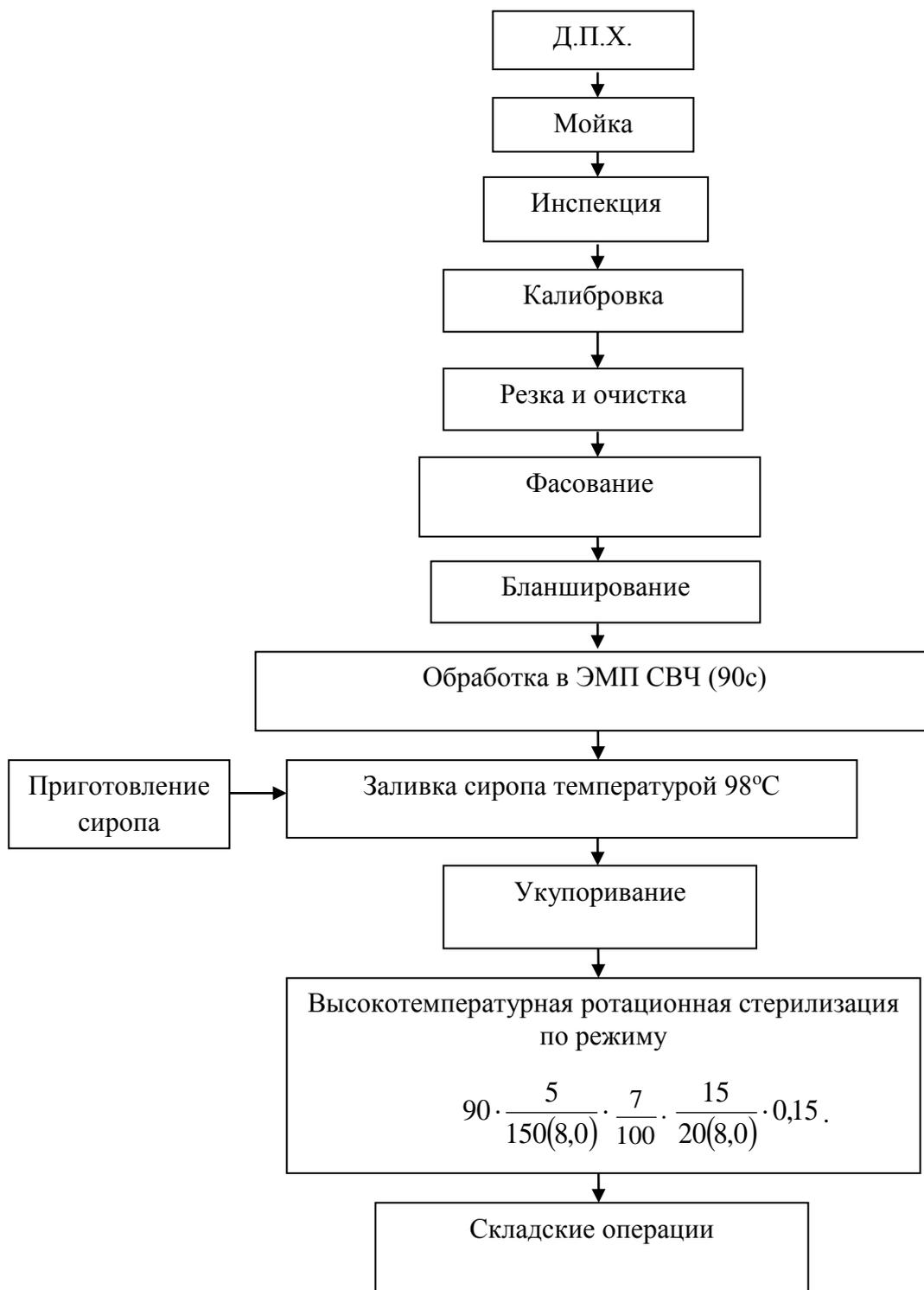


Рисунок 4 – Инновационная технологическая схема производства консервов «Компот из груш» в банке объемом 0,65 л с использованием предварительного нагрева плодов в банках в ЭМП СВЧ и высокотемпературной ротационной стерилизации в потоке нагретого воздуха

Таким образом, анализируя результаты проведенных исследований, можно сделать вывод, что повышение начальной температуры продукта перед стерилизацией, как прием совершенствования технологии производ-

ства консервируемых продуктов, целесообразен, так как режимы тепловой стерилизации, разработанные на их основе, обеспечивают требуемые летальности и сокращение времени тепловой стерилизации, что приводит также к общему улучшению качественных показателей готовой продукции.

Библиографический список:

1. Сборник технологических инструкций по производству консервов, Т.2, М. Пищевая промышленность. 1977.
2. Флауменбаум Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов. М. Легкая и пищевая промышленность. 1982.
3. Патент РФ №2318389. Способ консервирования компота из яблок. /Ахмедов М.Э., Исмаилов Т.А., 2008. Б.И. №7
4. Патент РФ 2344729 .Устройство для подогрева плодов и овощей в банках: пат. Рос. Федерация: МПК А 23 L 3/04 / Ахмедов М.Э., Исмаилов Т.А.; опубл.27.01.09, Бюл.№3;

УДК 547.789.9

Абакаров Г.М.

МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСЫ ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩИХ АМИНОВ И АЗОМЕТИНОВ

Abakarov G.M.

METALCOMPLEXES OF TELLURIUM-CONTAINING AMINES AND AZOMETINES

В данной статье рассмотрены методы синтеза и реакционная способность металлокомплексов теллурсодержащих аминов, азометинов, проблемы конкурентной координации с использованием принципа «мягких» и «жестких» кислот и оснований(Р.Пирсон).

Ключевые слова: *молекулярные комплексы, внутрикомплексные соединения, «мягкие» и «жесткие» кислоты, комплексы бис (аминофенил) дителлурида и комплексы азометинов бис(аминофенил)дителлурида.*

In this article methods of synthesis and reactionary ability of metalcomplexes of tellurium-containing amines, azometines, of a problem of competitive coordination with use of the principle of "soft" and "rigid" acids and the bases (R. Pearson).

Key words: *molecular complexes, intra complex connections, "soft" and "rigid" acids, complexes encore bis(aminophenil)ditellurida and complexes azometines encore bis(aminophenil)ditellurida.*

Теллурсодержащие лигатирующие соединения являются наименее распространенным типом лигандов в современной координационной химии [1,2]. Лигатирующие системы с атомом теллура до наших исследований обсуждались в отдельных изданиях [3,4], но не представлены в известной литературе по координационной и неорганической химии [5,6]. В этой связи теллуразотсодержащие соединения стали практически основанием для создания и развития нового раздела координационной химии – металлокомплексов N, Te-содержащих лигандов. В качестве последних были использованы амины, азометины, с их азотными или теллурными центрами координации.

На их основе были синтезированы два типа металлокомплексов: молекулярные комплексы, в том числе и хелатного типа, (МК, состав $L_m \cdot MA_n$) – внутрикомплексные соединения (ВКС, LM или L_2M). Этот подход к наиболее распространенным типам комплексных соединений сделан с учетом их классификации [2,7,8].

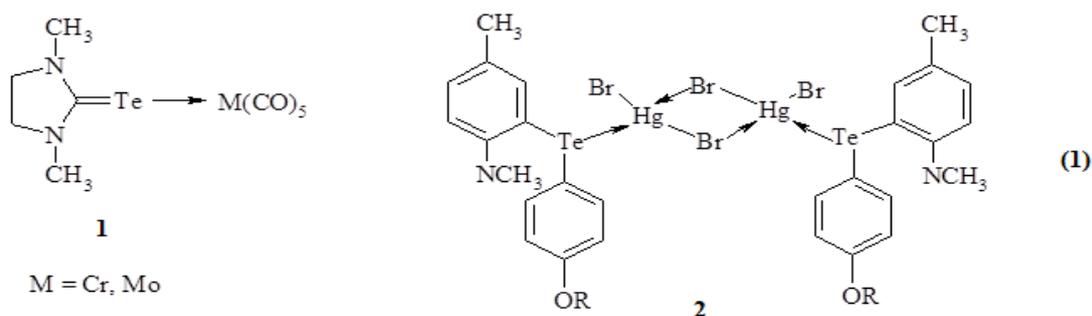
Первый, из указанных типов, комплексов – МК теллуразотсодержащих лигандов представляет особый интерес в связи с возможностью рассмотрения на их основе проблемы конкурентной координации с использованием принципа «жестких» и «мягких» кислот и оснований (ЖМКО, Р.Пирсон) [9,10].

Второй тип – ВКС (металлохелаты) интересен для развития проблемы создания новых видов лигандных окружений [4,11].

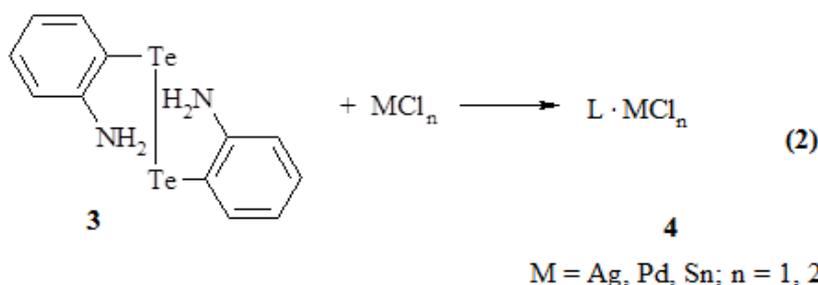
1.1. Металлокомплексы аминов

Этот тип лигандных систем, в зависимости от расположения N- и Te-донорных центров образует как молекулярные, так и хелатные комплексы. Действительно, в ранее опубликованных монографиях [9,10] показано, что в комплексах теллураминов с несклонным к хелатированию расположением донорных центров образуются моно-Te-координированные МК.

При этом «мягкие» кислоты $M(CO)_5$ и $HgBr_2$ в согласии с принципом ЖМКО связаны с «мягким» атомом теллура [4,11].



При хелатообразующем расположении N- и Te-атомы на основе теллуродержащих аминов нами получены (2) металлоциклические структуры.



В ИК-спектрах комплексов аминов **3** состава $L \cdot MCl_n$ ($L = 3$) (табл. 1) наблюдается существенное понижение частот валентных колебаний первичной аминогруппы по сравнению с положением ν_{NH_2} бис-(*o*-аминофенил)дителлурида: на 230 см^{-1} в комплексе $SnCl_4$, 200 см^{-1} - $PdCl_2$ и 140 см^{-1} – $AgNO_3$. Этот результат - отсутствие в ИК-спектрах полос поглощения свободных NH_2 -групп в сочетании с данными элементного анализа табл. 1 свидетельствуют, что рассматриваемые комплексы имеют димерные или олигомерные строения. Последние типы формирования комплексов обусловлены межмолекулярной координацией за счет атомов азота свободных NH_2 -групп при $M = Te$ («мягкие» Ag^+ , Pd^{2+}) или координации теллуродонорных центров в случае $M-N$ («жесткие» Sn^{4+}) металлосвязывания.

Таблица 1 -Комплексные соединения **4** бис (аминофенил) дителлурида **3**

Лиганд L	Состав компл.	Цвет	Т.пл. °С, разл.	Данные ИК спектров, N (NH ₂), см ⁻¹	Найдено, %		Бруто-формула	Вычислено, %	
					С	Н		С	Н
L-3	SnCl ₄ · L	светл.-кор.	60-63 разл.	3080-3170(3310-3320, 3400)	20,63	2,56	C ₁₂ H ₁₂ N ₂ Te ₂ · SnCl ₄	20,58	1,71
L-3	AgNO ₃ · L	красн.-кор.	99-102 разл.	3260-3170, 3340, (3300-3320, 3400)	24,25	2,4	C ₁₂ H ₁₂ N ₂ Te ₂ · AgNO ₃	23,64	1,9
L-3	PdCl ₂ · L	кор.	155-158 разл.	3200-3000, (3110-3320, 3400)	24,17	2,3	C ₁₂ H ₁₂ N ₂ Te ₂ · PdCl ₂	23,35	1,94

1.2 Металлокомплексы азометинов

Координационные соединения азометинов являются одним из самых распространенных классов металлокомплексов [1,2,11,12,13]. Однако среди представленных в этих публикациях координационных соединений шиффовых оснований комплексы теллурсодержащих лигандов представлены ограниченным числом примеров. Поэтому полученные нами результаты имеют принципиальное значение для развития координационной химии азометиновых лигандов.

В качестве «жестко» (N-донорный центр) – «мягкой» (Te-атом) лигандирующей системы был использован полученный нами при взаимодействии 2,2'-диаминодифенилдителлурида с бензальдегидами и его замещенными бис-азометин**6** (3).

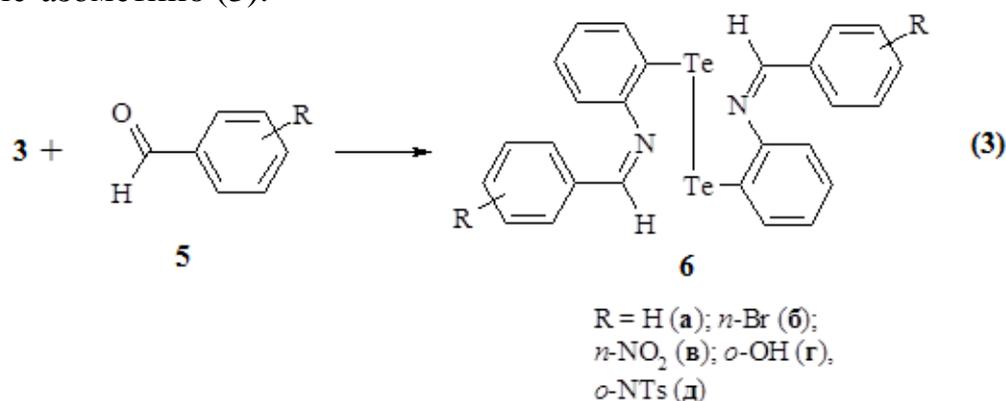


Таблица 2 - Азометины бис (*o*-аминофенил) дителлурида **6**

Соед.	R	Выход, %	Цвет	Т.пл., °С	ИК, ν _{C=N} , см ⁻¹	Найдено, %		Формула	Вычислено, %	
						C	H		C	H
ба	H	92	желт.	208-209	1625	51,07	2,42	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ Te ₂	50,71	3,25
бб	<i>n</i> -Br	95	желт.	193-195	1620	39,98	2,05	C ₂₆ H ₁₈ N ₂ Te ₂ Br ₂	40,35	2,32
бв	<i>n</i> -NO ₂	93	оранж.-крас.	243-245	1629	44,50	2,72	C ₂₆ H ₁₈ N ₄ O ₄ Te ₂	44,24	2,55
бг	<i>o</i> -OH	78	оранж.	165-167	1610	48,01	2,95	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂	48,20	3,09
бд	<i>o</i> -NTs	45	желт.	164-167	1625	41,84	4,35	C ₄₀ H ₃₄ N ₄ O ₄ S ₂	41,52	4,23

Образование азометинов из аминов подтверждено данными элементного анализа, наличием в его ИК спектрах интенсивной (C=N) полосы поглощения (1610-1630 см⁻¹) и отсутствием частот валентных колебаний первичной NH₂-группы **3** (область 3300-3400 см⁻¹). Строение бисазометина **бг** доказано методом РСА (рис. 1) и данными ЯМР ¹H (рис. 2,3).

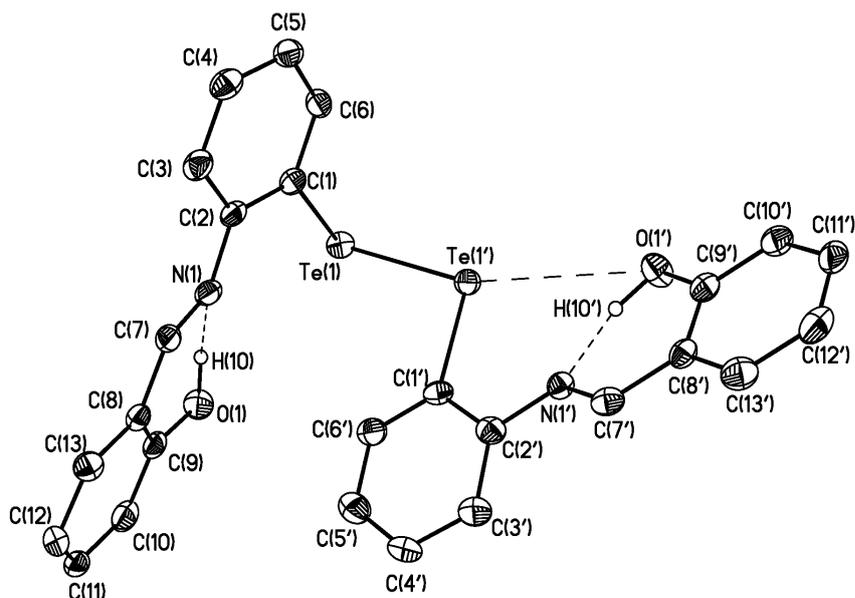


Рисунок 1 - Структура бис[*o*-(*o*-оксизилиденаминофенил)] дителлурида **6**

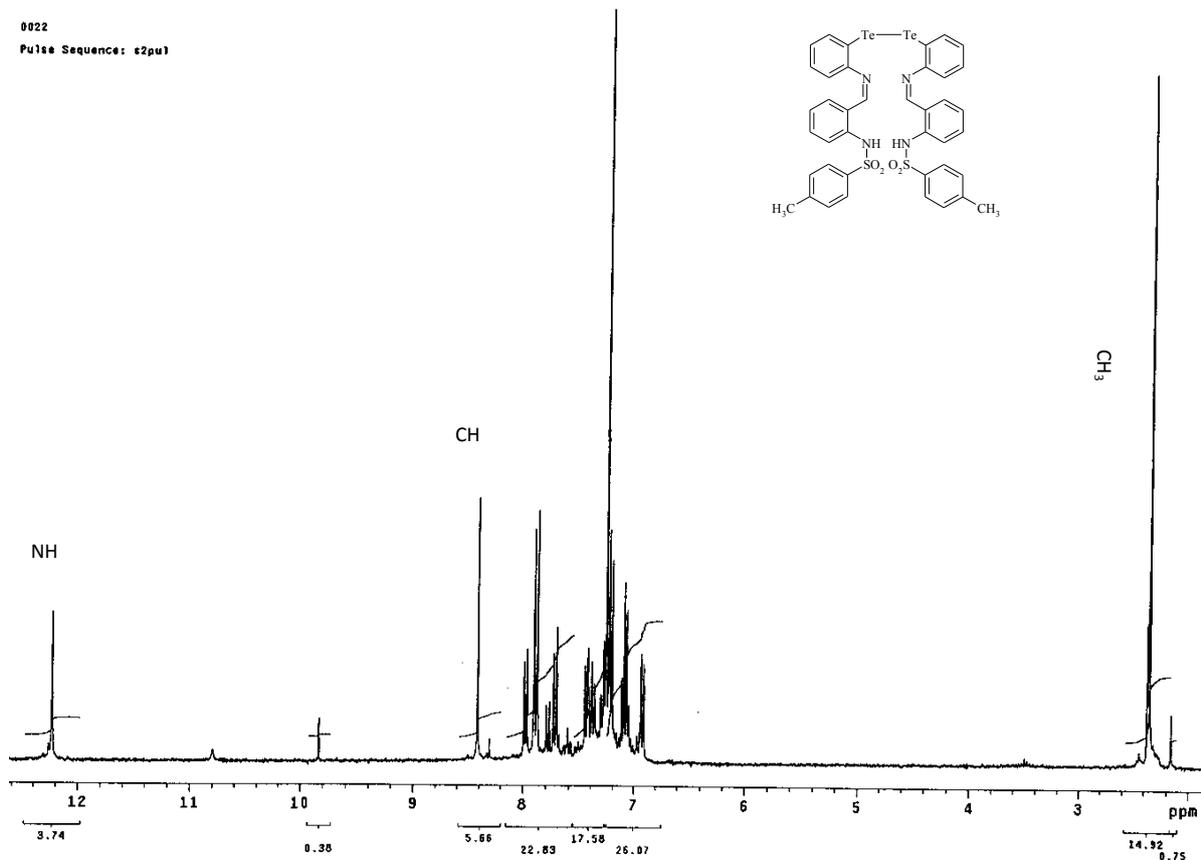


Рисунок 2 - ЯМР ^1H бис[*o*-(*o*-окситозилиденаминофенил)] дителлурида **6д**

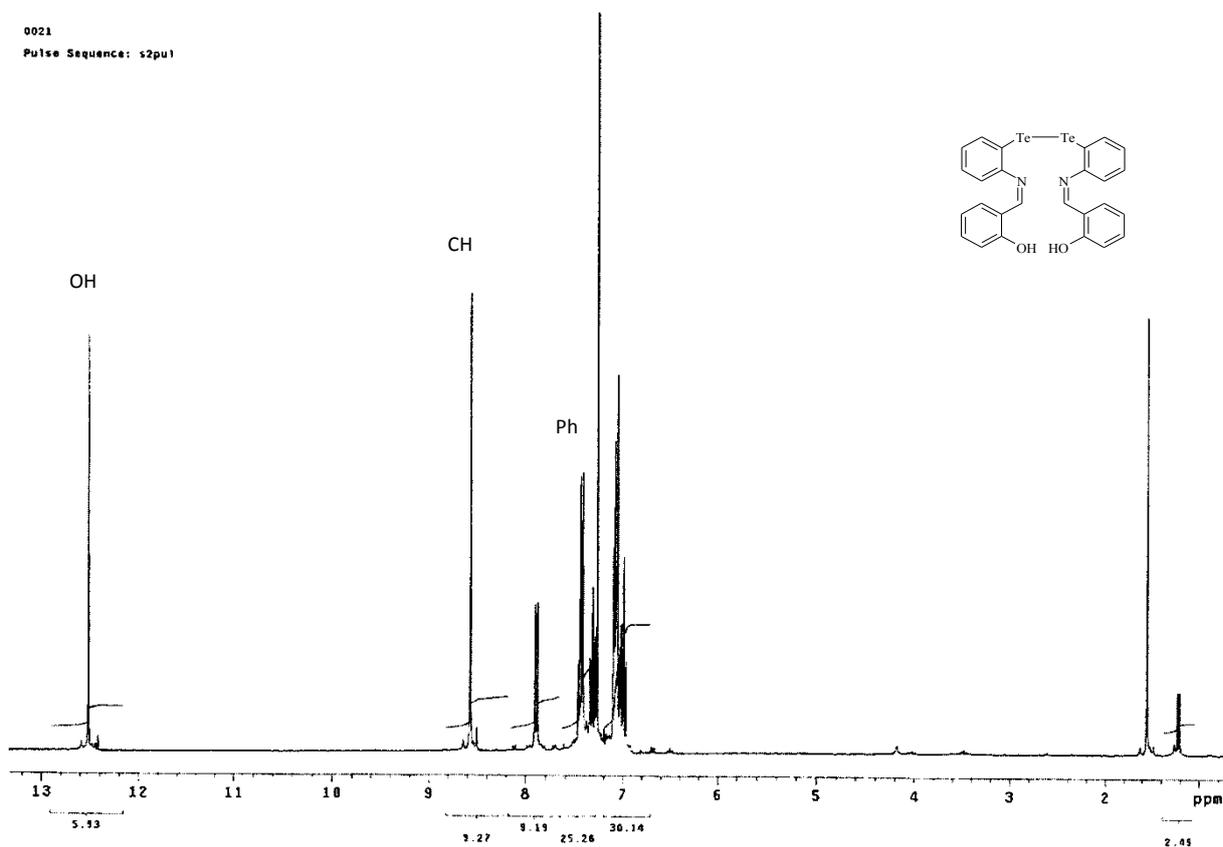
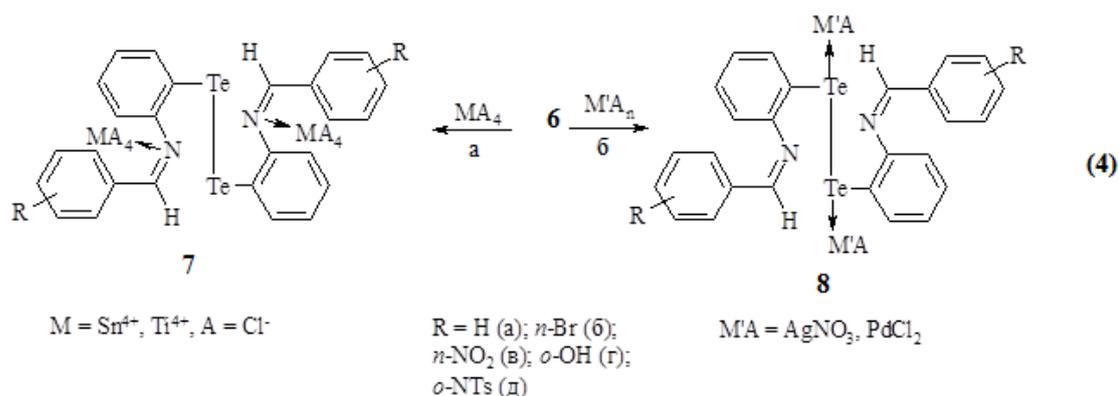


Рисунок 3 - ЯМР ^1H бис[*o*-(*o*-оксибензилиденаминофенил)]дителлурида **6г**

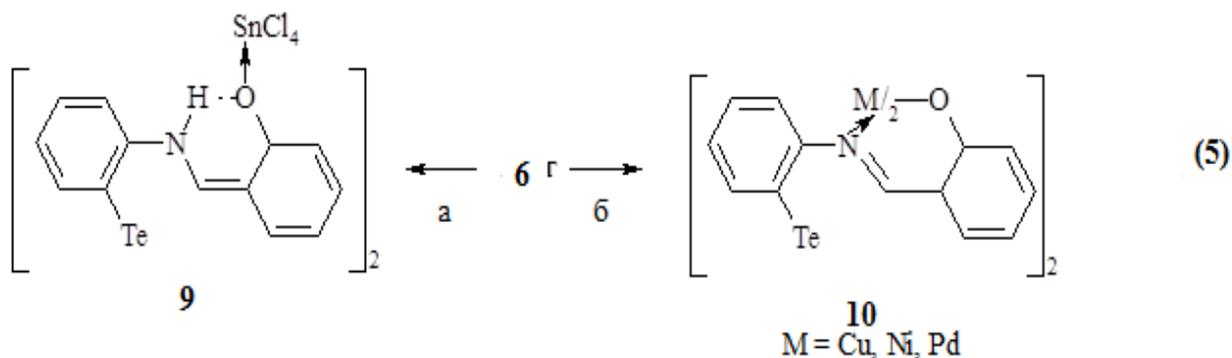
В отличие от комплексов бис(аминофенил)дителлурида **3** полученные комплексные соединения азометинов (**7**, **8**; табл. 3) имеют состав $L\ 2MA_n$, что указывает на отсутствие хелатирования.



В ИК-спектрах наблюдается как повышение (SnCl_4 , TiCl_4), так и понижение (PdCl_2 , AgNO_3) частот валентных колебаний азометинового поглощения (табл. 3, соед. **7 а-г**) по сравнению с положением полос в спектрах исходных азометинов. Учитывая, что образование молекулярных комплексов **7** с азометинами обычно сопровождается для **7** повышением, а для хелатных **8** - понижением указанных частот, можно сделать заключе-

ние о координации «жестких» кислот Пирсона (SnCl_4 , TiCl_4) по N- **7**, а «мягких» (PdCl_2 и AgNO_3) по N- и Те-донорным центрам **8** теллурсодержащих азометинов **6**. В пользу высказанного соображения свидетельствует тот факт, что комплексное соединение нитрата серебра с бензальанилином выделить не удалось, т.е. наличие донорного атома теллура становится в этом случае необходимым условием успешного протекания реакции с AgNO_3 (табл. 3) Это объяснение согласуется и с концепцией конкурентной координации, развиваемой с учетом принципа ЖМКО.

Лиганд **6** в зависимости от природы льюисовской кислоты и условий реакции **5** образует два типа комплексов: с хлоридами олова и палладия в бензоле и нитратом серебра в смеси ацетонитрил-бензол - молекулярные аддукты состава $2\text{MA}_n \cdot \text{L}$ (**5a**) с сохранением лигандной системы **9** (табл. 3, соед. **10**), а с ацетатами меди, никеля и палладия (**5б**) – внутрикомплексные соединения 10rML_2 .



В ИК спектрах молекулярных комплексов $9 \cdot \text{SnCl}_4$ наблюдается понижение частот валентных колебаний карбонильного поглощения, которое по аналогии с данными приведенными в обзоре [12] может быть обусловлено координацией металла по атому кислорода C=O группы (структура 9). Такой способ координации в комплексах *o*-гидроксиазометинов доказан методом РСА [12].

Вместе с тем, судя по поведению частот азометинового поглощения лигандов **6 г** (табл. 2) и комплексов этой лигатирующей системы с «мягкими» кислотами (PdCl_2 , AgNO_3 ; соединение **8a**, табл. 3), металл может быть связан с атомом теллура: положение $\nu_{\text{C}=\text{N}}$ практически не изменяется.

Для внутрикомплексных соединений характерно незначительное понижение частот валентных колебаний C=N-группы по сравнению с положением азометинового поглощения ($1610\text{-}1630 \text{ см}^{-1}$) в спектре соединения **10г** (табл. 3).

Величины эффективных магнитных моментов для медного ($\mu_{\text{эфф.}} = 1,89$ МБ) и никелевого ($\mu_{\text{эфф.}} = 3,45$ МБ) комплексов указывают на моноядерность [14] описываемых комплексов **10** ($\text{M} = \text{Cu}^{2+}$, Ni^{2+}) [15].

Таблица 3 - Комплексы бис (азометинов) диаминофенилдителлуридов 7-10

Соед.	Состав	Цвет	Т.пл., °С, разл.	ИК, $\nu_{C=N}$, cm^{-1}	Найдено, %		Формула	Вычислено, %	
					С	Н		С	Н
7а	2TiCl ₄ ·L	коричн.	95-96	1652	32,25	3,35	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ Te ₂ TiCl ₄	31,37	2,01
7а	2SnCl ₄ ·L	коричн.	110-112 разл.	1648	28,39	2,16	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ Te ₂ ·2SnCl ₄	27,46	1,76
8а	2PdCl ₂ ·L	красн.-кор.	215-217 пл. с разл.	1613	32,25	2,08	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ Te ₂ ·2PdCl ₂	32,16	2,06
8а	2AgNO ₃ ·L	св.-желт.	157-160 пл. с разл.	1625	31,63	2,67	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ Te ₂ ·2AgNO ₃	32,67	2,09
7б	2SnCl ₄ L	красн.-кор.	136-138 разл.	1643	24,69	2,01	C ₂₆ H ₁₈ N ₂ Br ₂ Te ₂ ·2SnCl ₄	24,11	1,39
7б	2PdCl ₂ L	темно-крас.	243-244	1611	28,18	1,61	C ₂₆ H ₁₈ N ₂ Br ₂ Te ₂ ·2PdCl ₂	27,66	1,59
7в	2SnCl ₄ L	коричн.	80-83 разл.	1645	26,35	2,04	C ₂₆ H ₁₈ N ₄ O ₄ Te ₂ ·2SnCl ₄	25,45	1,47
7в	2PdCl ₂ L	красн.-кор.	226-229 пл.сразл.	1620	29,06	1,25	C ₂₆ H ₁₈ N ₄ O ₄ Te ₂ · 2PdCl ₂	29,43	1,69
9г	2SnCl ₄ L	оранж.	167-170 пл. с разл	1608	27,55	2,03	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂ · 2SnCl ₄	26,71	1,54
9г	2PdCl ₂ L	коричн.	193-195	1610	31,83	1,97	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂ · 2PdCl ₂	31,14	1,79
9г	2AgNO ₃ ·L	желт.	187-190 разл.	1612	32,15	1,64	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂ · 2AgNO ₃	31,62	2,03
10г	Pd(L-2H)	красн.	298-300	1605	40,91	2,51	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂ Pd	41,52	2,39
10г	Cu(L-2H)	коричн.	257-259	1605	44,95	2,53	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂ Cu	44,02	2,53
10г	Ni(L-2H)	коричн.	273-276	1605	43,48	2,52	C ₂₆ H ₂₀ N ₂ O ₂ Te ₂ Ni	44,32	2,55

В ЭПР-спектре медного комплекса наблюдается интенсивный узкий сигнал анизотропного характера с g-факторами, лежащими в пределах 2,05-2,13, что также позволяет приписать медному комплексу моноядерное строение с одним неспаренным электроном.

Обращает на себя внимание тот факт, что в отличие от плоского диамагнитного никелевого комплекса салицилальанилина [15], никелевый хелат азометинаб (табл. 3, соед. 10г) является парамагнитным по данным ЭПР. Этот результат может быть связан с реализацией тетраэдрической или октаэдрической конфигурации. При этом в последнем случае достройка до октаэдра возможна с участием атомов теллура или кислорода.

В результате проведенных исследований получены металлокомплексы в которых сигнал валентных колебаний аминогруппы существенно понижается в сравнении с исходным 2,2'-диаминодифенилдителлуридом. При получении азометинов в ИК спектрах синтезированных соединений отсутствуют полосы поглощения характерные для аминогруппы, но появляются интенсивные полосы, характерные для $-CH=N-$, что в целом доказывает наряду с данным ЯМР1Н спектроскопии и РСА структуры синтезированных соединений.

Библиографический список:

1. Comprehensive Coordination Chemistry II / Eds. McCleverty J.A., Meyer T.J. – Amsterdam-Oxford, New York, San Diego: Elsevier-Pergamon Press. - 2003. - V. 1-10. – 8419 p.
2. Скопенко В.В., Цивадзе А.Ю., Савранский Л.И., Гарновский А.Д. Координационная химия. - Москва: Академкнига. - 2007. – 487 с.
3. Gisling H.J. In “The Chemistry of Organic Selenium and Tellurium Compounds” // Eds. Pataj S., Rappoport Z. - New York: J.Wiley. - 1986. - V. 1. - 679 p.
4. Гарновский А.Д., Садименко А.П., Осипов О.А., Цинцадзе Г.В. Жестко-мягкие взаимодействия в координационной химии. - Изд. Ростовского университета. - 1986. – 272 с.
5. Третьяков Ю.Д., Мартыненко Л.И., Григорьев А.Н., Цивадзе А.Ю. Неорганическая химии. М.: Химия. - 2001. – Кн. 1. – 471 с. – Кн. 2. – 383 с.
6. Шрайвер Д., Эткинс П. Неорганическая химия. М: Мир. - 2004. - Т.1. – 679 с. – Т. 2. – 486 с.
7. Гарновский А.Д. Лиганды и классификация комплексных соединений // Известия ВУЗов. Хим. и хим. техн.. - 1987. - Т. 30. - № 10. - С. 3-16.
8. Гарновский А.Д. Лиганды и формирование металлокомплексов // Коорд. химия. – 1988. – Т. 14. - № 5. – С. 579-599.
9. Гарновский А.Д., Васильченко И.С., Гарновский Д.А. Современные аспекты синтеза металлокомплексов. Основные лиганды и методы. - Ростов-на-Дону: Изд. ЛаПО. - 2000. - 354 с.
10. Synthetic Coordination and Organometallic Chemistry / Eds. Garnovskii A.D., Kharisov V.I. - New York-Basel: Marcel Dekker. - 2003. – 513 p.
11. Holm R.H., O'Connor M.J. The Stereochemistry of bis-chelate metal (II) Complexes // Progr. Inorg.Chem. – 1971. – V. 14. - N 2. – P. 241-401.
12. Гарновский А.Д., Васильченко И.С. Рациональный дизайн координационных соединений металлов с азометиновыми лигандами // Усп. хим. - 2002. - Т. 71. -№ 11. - С. 1064-1089.
13. Vigato P., Tamburini S., Bertolo L. The Development of Compartmental Macrocyclic Schiff Bases and Related Polyamine derivatives // Coord. Chem. Rev. - 2007. - V. 251. - P. 1311-1492.
14. Калинин В.Т., Ракитин Ю.В. Введение в магнетохимию. Методы статистической восприимчивости. М.: Наука, 1980. - 302 с.
15. Ларин Г.М. Взаимное влияние металлов и лигандов в координационных соединениях // Коорд. хим. - 1993. - Т. 19. - № 5. - С. 335-357.

УДК 616.7

Хамидова Р.Р.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕЧЕБНОГО ПИТАНИЯ В СТАЦИОНАРЕ (БТС-ЛПС)

Hamidova R.R.

BIOTECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM OF CLINICAL NUTRITION IN HOSPITAL

Рассмотрены вопросы организации лечебного питания в стационаре. Дано общее представление о биотехнических системах. Разработана методика проведения лечебного питания в стационаре, используя биотехнические системы медицинского назначения.

Ключевые слова: *лечебное питание, биотехнические системы, суперадаптивность, медико-биологическая информация, множество состояний.*

Discussed the organization of clinical nutrition at the hospital. Give a general idea of biotechnological systems. Developed a method of therapeutic feeding in the hospital using biotechnical systems for medical purposes.

Key words: *nutritional care, biotechnical systems, superadaptability, biomedical information, set of states.*

Начало использования пищевых продуктов с лечебной целью относится к глубокой древности. Сохранившиеся древнеегипетские и древнеримские рукописи донесли до наших дней ряд практически обоснованных положений по питанию здорового и больного человека. Лечебное питание можно определить как питание, в полной мере соответствующее потребностям больного организма в питательных веществах и учитывающее как особенности протекающих в нем обменных процессов, так и состояние отдельных функциональных систем. Основная задача лечебного питания сводится, прежде всего, к восстановлению нарушенного равновесия в организме во время болезни путем согласования химического состава и физико-химического состояния пищевых веществ к метаболическим особенностям организма. Лечебное питание является важнейшим элементом комплексной терапии. Обычно оно назначается в сочетании с другими видами терапии (фармакологические препараты, физиотерапевтические процедуры и т. д.). В одних случаях, при заболевании органов пищеварения или болезнях обмена веществ, лечебное питание исполняет роль одного из основных терапевтических факторов, других — создает благоприятный фон

для более эффективного проведения прочих терапевтических мероприятий [1, 2].

В соответствии с физиологическими принципами построения пищевых рационов лечебное питание строится в виде суточных пищевых рационов, именуемых диетами. Для практической реализации любая диета должна характеризоваться следующими элементами: калорийностью и химическим составом (определенное количество белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных веществ), физическими свойствами пищи (объем, масса, консистенция, температура), достаточно полным перечнем разрешенных и рекомендованных пищевых продуктов, особенностями кулинарной обработки пищи, режимом питания (количество приемов пищи, время питания, распределение суточного рациона между отдельными приемами пищи).

Лечебное питание требует дифференцированного и индивидуального подхода. Только с учетом общих и местных патогенетических механизмов заболевания, характера обменных нарушений, изменений со стороны органов пищеварения, фазы течения патологического процесса, а также возможных осложнений и сопутствующих заболеваний, степени упитанности, возраста и пола больного можно правильно построить диету, которая в состоянии оказать терапевтическое воздействие как на пораженный орган, так и на весь организм в целом.

Лечебное питание должно строиться с учетом физиологических потребностей организма человека с одной стороны, и в зависимости от индивидуальных особенностей каждого человека с другой стороны. Поэтому стоит задача индивидуального подбора той или иной диеты для больного, с учетом его болезни. Одним из способов решения поставленной задачи является создание биотехнической системы (БТС).

Биотехническая система является одним из конкретных примеров типичного для наших дней практического результата процесса интеграции наук. *Биотехническая система представляет собой совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения* [3, 4].

Преимущества биотехнических систем (БТС) перед системами техническими и биологическими заключаются в сочетании положительных качеств этих систем при взаимной компенсации их недостатков.

Основным свойством биотехнической системы является ее суперадаптивность, обусловленная наличием двух контуров адаптации – внешнего и внутреннего. Внешний контур обеспечивает БТС возможность выполнять свою целевую функцию в условиях переменных воздействий внешних факторов, внутренний контур позволяет элементам БТС взаимно адаптироваться к изменению состояния друг друга, вызванного воздействием внешних и внутренних факторов.

Таким образом, в БТС наличие биологических звеньев позволяет придать общим свойствам системы особую пластичность, улучшить

адаптивные характеристики во внешнем контуре адаптации. В то же время, качество внутренней адаптации существенно зависит от возможности технических элементов системы следить за изменением состояния биологических ее звеньев и, обмениваясь информацией с биоэлементом, соответственно изменять свои характеристики. Эти свойства БТС были заимствованы из бионических исследований живых организмов и воплотились в следующие основные принципы сопряжения технических и биологических элементов в единой функциональной системе:

– принцип адекватности, требующий согласования основных конструктивных параметров и «управленческих характеристик» биологических и технических элементов БТС;

– принцип единства информационной среды, требующий согласования свойств информационных потоков, циркулирующих между техническими и биологическими элементами, как в афферентных, так и в эффекторных цепях БТС. Синтез биотехнических систем самого различного назначения независимо от уровня сложности их структуры с целью соблюдения двух указанных принципов осуществляется на основе бионической методологии.

По характеру основной целевой функции биотехнические системы можно разделить на три группы:

- 1) биотехнические системы медицинского назначения (БТС-М);
- 2) биотехнические системы эргатического типа (БТС с человеком-оператором в качестве управляющего звена) (БТС-Э);
- 3) биотехнические системы целенаправленного управления поведением целостного организма (БТС-У).

Биотехнические системы медицинского назначения предназначены для использования в медицинских целях, главными из которых являются [5]:

– диагностика состояния живого организма (текущая проводимая в реальном масштабе времени, и дифференциальная, осуществляемая в процессе апостериорной обработки медико-биологической информации);

– управление состоянием организма для его нормализации (методами дискретной или непрерывной коррекции);

– временная или длительная компенсация утраченных функций органов или физиологических систем живого организма;

– протезирование и коррекция функций сенсорных систем или двигательного аппарата;

– различные медико-биологические исследования и лечебные процедуры, связанные с применением приборов активного вмешательства, сочлененных с живым организмом в единую биотехническую систему.

Элементами БТС могут быть различные биологические объекты. Для медицины наибольший интерес представляют системы «человек — машина» (СЧМ), иногда называемые БТС технической ориентации или человеко-машинными комплексами, которые позволяют наилучшим способом

согласовать и использовать возможности человека для управления техническими устройствами, а также системы медико-биологической ориентации (инженерно-физиологические системы), предназначенные для создания и поддержания определенных условий функционирования организма, отдельных физиологических систем или органов [5, 6]. По назначению системы человек — машина весьма разнообразны: управляющие, обслуживающие, обучающие, информационные, исследовательские, экспертные и др.

В данной работе на основе теоретических исследований, проведенных с привлечением результатов проведенных нами медицинских исследований, была разработана биотехническая система лечебного питания в стационаре (БТС-ЛПС).

БТС-ЛПС - технические средства, обеспечивающие непрерывный съем физиологических параметров от одного или нескольких человек, необходимую обработку и анализ этих показателей в реальном масштабе времени, отображение и регистрацию как первичных, так и обработанных данных и выработку требуемых управляющих сигналов. В соответствии с принятой классификацией биотехнических систем БТС-ЛПС относятся к медицинским информационно-измерительным системам.

Обобщенная структурная схема БТС-ЛПС приведена на рис.1.

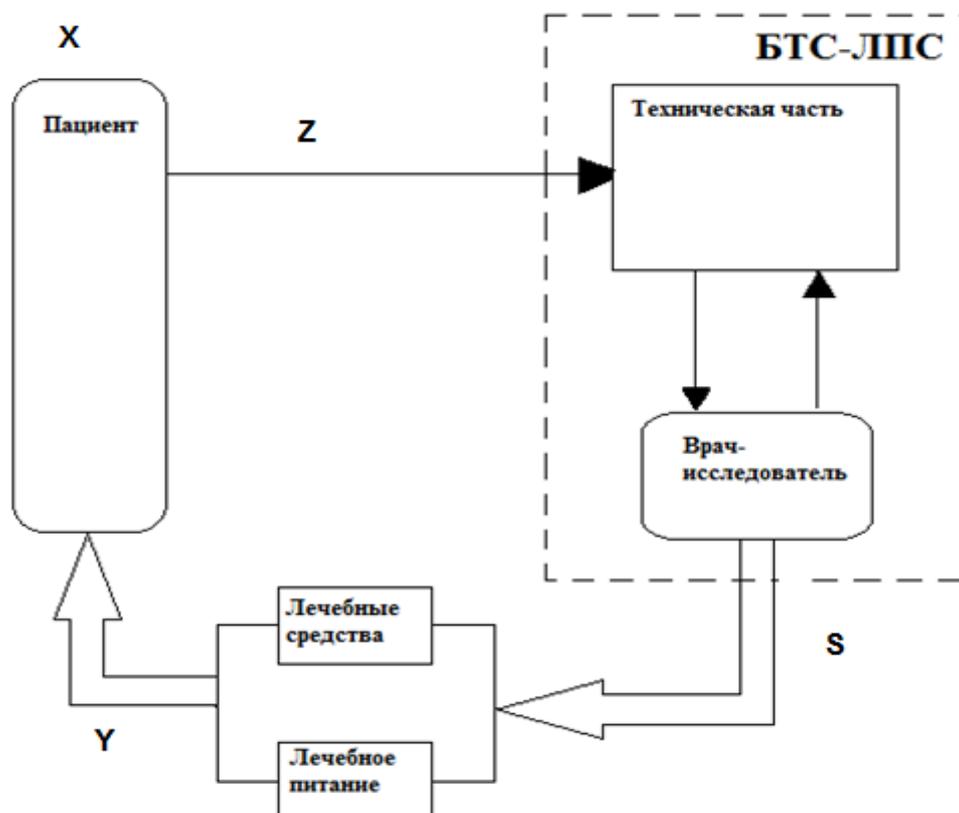


Рисунок 1 - Структурная схема БТС-ЛПС

Обозначим через $X=\{x_i\}$, $i=1, 2, \dots, N_x$ – конечное множество состояний пациента, через $Y=\{y_j\}$, $j=1, 2, \dots, N_y$ – множество управляющих воз-

действий на пациента со стороны врача, через $Z=\{Z_t\}$, $t=1, 2, \dots, N_t$; $Z_t=\{z_{tk}\}$, $k=1, 2, \dots, N_k$ – множество физиологических процессов на временном интервале Δt , k – номер процесса; через $S=\{s_n\}$, $n=1, 2, \dots, N_n$ – множество состояний больного, описываемых на выходе БТС.

Предположим, что Z достаточно полно характеризует множество состояний пациента X , т.е. существует отображение $f_1: Z \rightarrow X$. Тогда задача синтеза БТС сводится к построению такого алгоритма обработки множества Z , соответствующего некоторому отображению $f_2: Z \rightarrow S$, который обеспечивает взаимную однозначность отображения $f_3: Z \rightarrow Y$. Выбор воздействия u_j при данном x_i определяется оптимальным планом лечения, который составляется врачом на основании его знания реакции больного на u_j и цели приведения его в заданное множество состояний $X' \rightarrow X$, называемых нормальными.

Данная схема работает следующим образом. Вся медико-биологическая информация о процессах, протекающих в организме человека, поступает в блок технической части БТС. Техническая и биологическая части БТС связаны между собой связью, позволяющей взаимно влиять друг на друга. Биологическая часть БТС включает в свой состав оператора (в данном случае врача-исследователя), который на основе информации, поступающей из технической части БТС, принимает окончательное решение о методе лечения, выборе лечебных средств и лечебного питания индивидуально для каждого пациента. Информация, поступающая к врачу-исследователю, должна быть достаточно полной, так как она влияет на степень качества оценки состояния организма. Выполнение данного требования отвечает основным принципам синтеза БТС, что учтено и при разработке БТС-ЛПС.

Создание такой экспертной БТС существенно облегчит порядок назначения лечебного питания, так как на сегодняшний день организация лечебного питания в медицинском учреждении основана лишь на профессиональных качествах медицинского работника, т.е. зависит от грамотности и эрудиции лечащего врача. Биотехническая система лечебного питания в стационаре (БТС-ЛПС), которая на основе поступающих в систему данных извне, составляет меню, в соответствии с нормами питания, учитывая индивидуальный подход лечебного питания, позволит решить как организационные, так научно-методические вопросы, возникающие в больнице. Лечебное питание, составленное на основе индивидуальных особенностей человека и с помощью БТС, включает в себя применение в лечебных, а также в профилактических целях специально поставленных рационов питания и режима приема пищи.

Применение биотехнических систем позволяет вычислить производные физиологических показателей по измеренным параметрам, автоматизировать диагностику состояний пациента и оптимизировать план лечения для активного управления организмом по его физиологическим входам (см. табл.1).

Таблица 1 - Физиологические параметры и показатели состояния больного, используемые в биотехнических системах

Физиол. параметр	Показатели	
	Измеряемые	Производные
Кровообращение	Давление: артериальное, венозное, в предсердии. Электрокардиограмма	Артериальное давление: систолическое, диастолическое, среднее, первая производная подъема кривой; частота пульса; минутный объем; ударный объем; общее сопротивление. Результаты обработки ЭКГ.
Дыхание	Давление: O ₂ , CO ₂ , воздуха. Воздушный поток	Интенсивность; минутный объем; дыхательный объем; общая эластичность легких; неэластичное сопротивление; работа дыхания; потребление кислорода; дыхательный коэффициент; вдыхаемая концентрация кислорода; альвеолярная вентиляция; отношение вредного пространства к дыхательному объему.
Биохимия	Гемоглобин Давление: артериальное O ₂ и CO ₂ , венозное O ₂ и CO ₂ . рН	Кислотно-щелочное равновесие; метаболизм в крови и тканях
Объем жидкости	Объем мочи Скорость выведения жидкости	Водный баланс
Температура	Внутренняя Кожа	-

Биотехническая система, анализирующая значительные объемы информации и принимающая решения в реальном масштабе времени, позволяет наиболее эффективно и с пользой для здоровья пациента провести организацию лечебного питания. Таким образом, необходимость создания биотехнической системы, позволяющей индивидуально подбирать лечебное питание для каждого пациента, очевидна. Такая система позволит не только качественно подобрать ту или иную диету для каждого пациента, учитывая его индивидуальные особенности, а также снизит риск ошибок, связанных с человеческим фактором.

Библиографический список:

1. Лечебное питание./ Под ред. И. Латогуза. – Харьков: Изд-во «Торсинг», 2002. – 543 с.

2. Меньшиков Ф. К. Диетотерапия. М.: Изд-во «Медицина», 1972. – 296 с.
3. Биотехнические системы. Теория и проектирование./ Под ред. В.М. Ахутина. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 220 с.
4. Попечителей Е.П. Методы медико-биологических исследований. Системные аспекты: Учебное пособие. – Житомир: ЖИТИ, 1997. – 187 с.
5. Падерно П.И., Попечителей Е.П. Надежность и эргономика биотехнических систем./Под общ.ред. проф. Е.П. Попечителя. – СПб.: ООО «Техномедиа/ Изд-во «Эльмор», 2007. – 264 с.
6. Лоцилов В.И., Шукин С.И. Принципы анализа и синтеза биотехнических систем: Уч. Пособие. – М.: МВТУ, 1987. - 89 с.

ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ

УДК 65.9(3)

Курбанова И.Т., Гаджиев И.Ц.

ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМОВ ПРИРОСТА ПРОДУКЦИИ И ОКАЗЫВАЕМЫХ УСЛУГ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Kurbanova I.T., Gadzhiev I.C.

ESTIMATION AND OPTIMIZATION OF THE VOLUMES OF THE INCREASE TO PRODUCT AND RENDERED SERVICES IN PROGRESS SMALL ENTERPRISE

Показаны роль и место малого бизнеса в развитии экономики страны. Предложены эвристические методы оценки прироста и оптимизации объемов производства и оказываемых услуг в процессе развития малых предприятий в нестабильной экономической среде.

***Ключевые слова:** развитие малых предприятий, нестабильная экономическая среда, прирост объемов производства и оказываемых услуг, инвестиционные затраты.*

Role and place of the small business are shown in development of the economy of the country. They are offered heuristic methods of the estimation of the increase and optimization volume of production and rendered services in progress small enterprise in sloppy economic ambience.

***Key words:** development small enterprise, sloppy economic ambience, increase volume of production and rendered services, investment expenses.*

Мировая практика свидетельствует о том, что в странах с развитой рыночной экономикой малое предпринимательство оказывает существенное влияние на развитие национальной экономики, решение социальных проблем и снижение уровня безработицы. По численности работающих, по объему производимых и реализуемых товаров и оказываемых услуг данная сфера в отдельных странах занимают ведущее место. Данное обстоятельство и определяют объективную необходимость эффективного развития малых предприятий в российской экономике.

К тому же высокая приспособляемость малых предприятий, к изменениям внешней среды и возможность массового охвата практически всех отраслей народного хозяйства на внутреннем рынке обеспечивает устойчивость развития экономики и способствует стабильности социального и политического климата в стране. Владельцы малых предприятий, с одной

стороны, являются мелкими собственниками, часто объединенными едиными корпоративными интересами. С другой стороны, представителей малого бизнеса отличает то, что условия их деятельности, а также положение активного производителя и одновременно потребителя на внутреннем рынке принуждает их к повседневному упрочнению связей со своими постоянными и потенциальными партнерами и клиентами из различных социальных групп. Это и определяет общественное поведение представителей малого бизнеса, основанное на прямой зависимости от местных и национальных условий и интересов[1].

Однако обеспечение инвестициями малых предприятий сегодня является достаточно проблематичным и не имеющим пока на государственном уровне эффективных подходов к решению. Хотя за последние три года объемы кредитования в целом по стране увеличились в несколько раз. Однако этот рост пришелся в основном на долю крупных промышленных предприятий ВПК, которые взаимодействуют с банковским сектором и имеют высокую платежеспособность. Для малых предприятий, особенно вновь создаваемых, получить заем по-прежнему является достаточно сложной проблемой. По оценкам экспертов, потребность малого бизнеса в заемных средствах удовлетворяется в среднем на 20-30%. Банкам невыгодно работать с малыми заемщиками по следующим основным причинам: очень велика доля накладных расходов при оформлении небольших кредитов, высокие риски и отсутствие залога[2].

Таким образом, перед собственниками малых предприятий встает актуальная проблема эффективного использования имеющихся у них как собственных, так и заемных средств, которые они планируют использовать для своего развития.

Как правило, возможность развития малого предприятия в нестабильных условиях рынка может быть вызвана:

- либо увеличением объемов ($V_{ок}$) производства или оказываемых услуг при наличии на рынке неудовлетворенного спроса (условие роста объемов производства и оказываемых услуг);

- либо расширением номенклатуры производимой продукции и оказываемых услуг с сохранением объемов $V_{ок}$, если на рынке имеется неудовлетворенный спрос на высокорентабельные услуги, которые предприятие в текущий момент не реализует, но способно реализовать в будущем;

- либо необходимостью перехода предприятия к производству новых высокорентабельных товаров и услуг при падении на рынке спроса на производимые товары и оказываемые им услуги.

Таким образом, актуальными проблемами развития малых предприятий являются:

- оценка изменяющихся объемов спроса на производимые товары и услуги как в текущий момент времени, так в перспективе;

- определение неудовлетворенных объемов спроса на различные виды товаров и услуг, которые способно производить предприятие;

- оценка допустимого прироста объемов производимых товаров и услуг, пользующихся устойчивым спросом на рынке с учетом имеющихся у них возможностей.

На наш взгляд первые две проблемы решаются на основе анализа результатов маркетинговых исследований, проведение которых, к сожалению, требует достаточно высоких затрат. Это вынуждает малые предприятия к различному роду объединений и делегированию центру различных задач, решение которых они не могут освоить собственными силами. К наиболее приемлемой форме такого объединения можно отнести их объединение на ассоциативной основе и организацией связей между ними с помощью корпоративной вычислительной сети. Другими словами, в данном случае целесообразно организовать совместную их работу на основе формирования виртуального объединения экономически самостоятельных единиц малого бизнеса.

Основная же проблема, которую в таком объединении предприятие должно решать самостоятельно, связана с оценкой допустимого прироста объемов производства и услуг с целью обеспечения своего развития. Данная задача обычно решается каждым предприятием в процессе формирования плана функционирования с учетом имеющихся для этого инвестиционных средств.

Рассмотрим случай, когда предприятие планирует свое развитие путем увеличения объемов производства и оказываемых услуг ($V_{ок}$) при наличии на рынке неудовлетворенного спроса объемом ($V_{нс}$).

Для решения данной задачи, в первую очередь, необходимо определить требуемые для этого инвестиционные расходы (I_3), которые должны покрывать все затраты, связанные с расширенным воспроизводством производимых товаров и услуг $V_{ок}$ на величину, равную ($\Delta V_{ок}$). К основным таким затратам следует отнести:

- затраты ($Z_{ТР}$) связанные с развитием трудовых ресурсов:

$$Z_{ТР} = \sum_{j=1}^m \Delta T_{jP} Z_{jТР} (1),$$

где ΔT_{jP} - количество единиц требуемого прироста трудовых ресурсов j -го вида; $Z_{jТР} (1)$ - затраты, связанные с приростом одной единицы трудовых ресурсов j -го вида;

- затраты ($Z_{ОФ}$), требующиеся для развития основных фондов:

$$Z_{ОФ} = \sum_{i=1}^n \Delta O_{i\phi} Z_{iОФ} (1),$$

$\Delta O_{i\phi}$ - количество единиц требуемого прироста основных фондов i -го вида; $Z_{iОФ} (1)$ - затраты связанные с приростом одной единицы основных фондов i -го вида;

- издержки ($\Delta I_{\text{пр}}$), связанные с приростом объемов производства товаров и на величину, равную $\Delta V_{\text{ок}}$:

$$\Delta I_{\text{пр}} = \Delta V_{\text{ок}} \Delta I_{\text{пр}}(1),$$

где $\Delta I_{\text{пр}}(1)$ - издержки, связанные с приростом объема оказываемых услуг на одну единицу.

Отсюда, инвестиционные затраты, необходимые для расширенного воспроизводства товаров и х услуг на величину, равную $\Delta V_{\text{ок}}$, определяются следующим образом:

$$I_3 = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{оф}} + \Delta I_{\text{пр}}.$$

При наличии у предприятия собственных средств ($C_{\text{ср}}$) на развитие и выполнении условия $C_{\text{ср}} < I$ предприятию требуются заемные средства ($Z_{\text{ср}}$), равные:

$$Z_{\text{ср}} = I_3 - C_{\text{ср}}.$$

При отсутствии собственных средств $I_3 = Z_{\text{ср}}$.

Допустим у предприятия после реализации одной единицы производимых товаров и услуг, а также выплаты налогов, остается доход, равный $D(1)$. Тогда общий доход ΔD от реализации объемов товаров и услуг $\Delta V_{\text{ок}}$, получаемый предприятием после уплаты налогов за один период времени оборачиваемости ($T_{\text{об}}$) вложенных в развитие средств I_3 , будет определяться следующим образом:

$$\Delta D = \Delta V_{\text{ок}} D(1). \quad (1)$$

Для того чтобы предприятие работало эффективно и могло вернуть вкладываемые в развитие заемные средства $Z_{\text{ср}}$, плюс связанные с ними проценты $\Delta Z_{\text{ср}}$ требуется выполнение следующих условий:

а) в случае, когда $T_{\text{об}} = T_{\text{в}}$ необходимо, чтобы:

$$\Delta D > Z_{\text{ср}} + \Delta Z_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{в}}$ - период возврата заемных средств.

Отсюда, согласно (1) и (2) для рентабельной работы, малому предприятию, при отсутствии собственных средств на развитие, необходимо спланировать такой прирост $\Delta V_{\text{ок}}$ объемов производства товаров и услуг, для которого выполняется следующее условие:

$$\Delta V_{\text{OK}} > \frac{3_{\text{CP}} + \Delta 3_{\text{CP}}}{D(1)}, \quad (3)$$

при следующих ограничениях $\Delta V_{\text{OK}} \leq V_{\text{HC}}$;

б) в случае, когда $T_{\text{OB}} < T_{\text{B}}$ после определения количества периодов k ($k = T_{\text{OB}} / T_{\text{B}}$) оборачиваемости вкладываемых в развитие средств за время T_{B} , неравенство (3) запишется следующим образом:

$$\Delta V_{\text{OK}} > k \frac{3_{\text{CP}} + \Delta 3_{\text{CP}}}{D(1)}.$$

2. Рассмотрим второй случай, связанный с расширением (диверсификацией) номенклатуры производимых товаров и услуг. При планировании объемов $V_j, j=1, d$ для каждого j -го вида новых товаров и услуг, необходимо, исходя из объемов требуемых инвестиций I_{j3} , найти такое соотношение между их объемами и доходом от реализации $D_j(I)$, остающимся у предприятия после выплаты налогов, при котором выполняется соотношение (3).

К одному из подходов решения этой задачи можно отнести планирование таких объемов товаров и услуг, при которых для каждого их вида выполняется условие равновесия спроса и предложения и устанавливается соответствующая ему цена C_j . Затем для каждого вида товаров и услуг определяется доход $D_j(I)$ и проверяется выполнение неравенства (3) с учетом таких объемов V_j товаров и услуг, при которых достигается равновесие спроса и предложения. При этом планируется производство только тех товаров и услуг, для которых выполняется неравенство (3).

Очень часто на практике малое предприятие сталкивается с наличием ограниченных объемов инвестиционных средств I_3 . Поэтому при планировании к реализации различного вида товаров и услуг при различной их прибыльности и ограниченных объемах неудовлетворенного спроса возникает необходимость в решении следующей оптимизационной задачи.

Допустим, предприятие способно производить $j=1, d$ наименований товаров и услуг, имеющих объемы неудовлетворенного спроса, равные $V_{j\text{HC}}$. При равновесии спроса и предложения для каждого j -го вида товаров и услуг устанавливается цена, равная C_j . Затраты предприятия на производство и реализацию одной единицы товаров и услуг j -го наименования равны $3_j(I)$. Тогда получаемая предприятием прибыль P при производстве всех d видов товаров и услуг при неограниченных объемах инвестиционных средств будет определяться следующим образом:

$$P = \sum_{j=1}^d V_{j\text{HC}} (C_j - 3_j(I)).$$

В случае когда выполняется неравенство:

$$\left(\sum_{j=1}^d V_{jHC} Z_j(1)\right) > I_3,$$

возникает необходимость распределения имеющихся средств между различными видами товаров и услуг, т.е. целесообразно определить такие объемы производимых товаров и услуг $0 \leq V_j^* \leq V_{jHC}$, при которых максимизируется получаемая предприятием прибыль P :

$$P = \sum_{i=1}^n V_j^* (C_{jHC} - Z_j(1)) \rightarrow \max,$$

при выполнении следующего равенства и неравенства:

$$\left(\sum_{j=1}^d V_j^* Z_j(1)\right) = I_3; \quad V_j^* \leq V_{jHC},$$

где C_{jHC} - цена товаров и услуг j -го наименования при оптимальных объемах их производства V_j^* , которые уже не удовлетворяют условию равновесия спроса и предложения.

Допуская (согласно линейности кривой спроса[2]), что цена на товары и услуги j -го наименования будет увеличиваться пропорционально возникающему дефициту, можно записать:

$$C_{jHC} = \frac{V_{jHC} C_j}{V_j^*}.$$

Рассмотрим ситуацию, когда имеющиеся у малого предприятия инвестиции превышают средства, необходимые для покрытия неудовлетворенного спроса по всем видам оказываемых им услуг, т.е. выполняется условие:

$$\left(\sum_{j=1}^d V_{jHC} Z_j(1)\right) < I_3.$$

В этом случае у предприятия имеются инвестиционные резервы, которые оно может использовать:

- либо для производства нового вида товаров и услуг, имеющих неудовлетворенный спрос на рынке (второй, рассмотренный выше случай развития);

- либо для увеличения объемов ранее производимых товаров и услуг, снизив до приемлемого значения стоимость их реализации, обеспечивающей повышение спроса и увеличение получаемой прибыли за счет роста их объема.

Если предприятие планирует прирост объемов ранее производимых товаров и услуг j -го вида на величину, равную ΔV_j (которая определяется,

например, на основе выделенных предприятием на эти цели инвестиционных резервов), то условие допустимых объемов их роста, при снижении цены до приемлемой величины, равной C_j^* (цены, при которой предприятие остается рентабельным с учетом их себестоимости), можно записать следующим образом:

$$(V_{\text{jHC}} + \Delta V_j)(C_j^* - Z_j(1)) > V_{\text{jHC}}(C_j - Z_j(1)). \quad (4)$$

Необходимым, но не достаточным условием выполнения отношения (4) является следующее неравенство $C_j^* > Z_j(1)$.

После выполнения простых преобразований (4) получим:

$$(C_j - C_j^*)V_{\text{jHC}} < \Delta V_j(C_j^* - Z_j(1)),$$

т.е., в этом случае имеет место следующее отношение:

$$\frac{\Delta V_j}{V_{\text{jHC}}} > \frac{C_j - C_j^*}{C_j^* - Z_j(1)}, \quad (5)$$

где C_j - цена услуг j -го вида при выполнении условия равновесия спроса и предложения.

Для определения приемлемой для предприятия цены C_j^* после нарушения условия равновесия спроса и предложения при фиксированном приросте объемов ΔV_j производства товаров и услуг j -го наименования, организуем следующий итерационный процесс:

$$C_j^*(i+1) = C_j^*(i) - \Delta C, i = 1, m,$$

приняв на первом его шаге цену $C_j^*(1)$, равную цене C_j . Приращения ΔC определяется произвольно и является малым, т.е. $\Delta C \leq 1$.

Затем, полученная на каждом шаге этого процесса цена услуг $C_j^*(i+1)$ подставляется в неравенство (5) и проверяется условие его выполнения. Если условие (5) выполняется, то за приемлемое значение цены услуг принимается значение $C_j^*(i+1)$, полученное на последнем шаге процесса ее поиска. В противном случае, итерационный процесс продолжается до выполнения условия (5).

Если после увеличения объемов производимых товаров и услуг j -го наименования на величину $\Delta V(j)$ у предприятия остаются неиспользованные резервы, то выбирается следующее их j^* -е наименование, для которого по приведенной выше методике определяются цена C_i^* и объемы прироста $\Delta V(j^*)$ и т.д., пока не будут использованы все имеющиеся у предприятия инвестиционные резервы.

3. Третий случай, когда предприятие переходит к реализации только нового для себя вида услуг, сводится ко второму случаю, при условии, что ему требуются средства для свертывания ранее оказываемых услуг. Другими словами, в данном случае необходимые для развития инвестиционные средства I_3 определяются следующим образом:

$$I_3 = Z_{CB} + \sum_{j=1}^n Z_{jTP} + Z_{jOF} + \Delta I_{jIP}, \text{ где:}$$

- Z_{CB} - затраты, необходимые для свертывания ранее производимых товаров и услуг, которые должны покрываться из прибыли получаемой предприятием в результате реализации нового вида товаров и услуг;

- Z_{jTP}, Z_{jOF} - затраты, соответственно, связанные с развитием трудовых ресурсов и основных фондов, необходимых для организации производства товаров и услуг j-го вида;

- ΔI_{jIP} - издержки, связанные с реализацией j-го вида товаров и услуг на первом этапе оборачиваемости вкладываемых в развитие средств.

В заключении следует отметить, что предложенные методические основы оценки и оптимизации объемов прироста, производимых или планируемых к производству товаров и услуг, позволяют в процессе развития малого предприятия выбирать наиболее рентабельные их виды и обеспечить на этой основе получение максимально возможной прибыли. Кроме того, предприятие в соответствии с изменением рыночного спроса на производимые товары и услуги получает возможность наиболее эффективно использовать инвестиционные средства, имеющиеся у него для своего развития.

Библиографический список:

1. Морозов В. А. Малые формы с большим будущим: место малого бизнеса в развитии экономики страны. // Российское предпринимательство. 2004. №6.
2. Круглов С. И. Малый бизнес: проблемы и перспективы// Логинформ. 2005. №7.
3. Басаргина О.А., Ермолаева М.Т., Коляго В.С. и др. Экономика для инженера. В 2-х частях. Введение в экономическую теорию. Микроэкономика/ Под ред. Ю.А. Комарницкого, А.К. Сапора. –М.: Высшая школа, Доброе слово, 2001.

РЕДАКЦИОННЫЙ ОТДЕЛ

НАШИ АВТОРЫ:

Абакаров Гасан Магомедович - доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии технологического факультета Дагестанского государственного технического университета.

Алибеков Гайдар Алиевич – аспирант кафедры вычислительной техники факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Алибеков Митхат Султанмахмудович - ассистент кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений архитектурно-строительного факультета Дагестанского государственного технического университета.

E-mail: mithat@yandex.ru

Амиров Абутураб Магомедрасулович - аспирант 2 года обучения Дагестанского государственного технического университета.

Ахмедов Магомед Эминович - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой товароведения и экспертизы технологического факультета Дагестанского государственного технического университета. Заслуженный изобретатель РД.

Ахмедова Милена Магомедовна - аспирант кафедры товароведения и экспертизы технологического факультета Дагестанского государственного технического университета.

Гаджиев Ильяс Цахаевич – соискатель кафедры мировой экономики факультета финансов и аудита Дагестанского государственного технического университета.

Герейханов Ризван Кудратович – аспирант кафедры теоретической и общей электротехники факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Губа Александр Вениаминович – кандидат технических наук, доцент, руководитель исследовательского центра «Современные электронные элементы и технологии» Дагестанского государственного технического университета.

Демирова Амият Фейзудиновна - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продукции и организации общественного питания технологического факультета Дагестанского государственного технического университета.

Евдулов Денис Викторович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Евдулов Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Загиров Надир Гейбетулаевич - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Директор Дагестанского научно-исследовательского института сельского хозяйства РАСХН.

Ильясов Эмран Эльдарович – кандидат технических наук, доцент, проректор по информационным технологиям и телекоммуникациям Дагестанского государственного технического университета.

E-mail: emranei@mail.ru

Исмаилов Тагир Абдурашидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники, факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики. Ректор Дагестанского государственного технического университета. Заслуженный деятель науки РФ.

Курбанова Исли Тагировна - кандидат экономических наук, доцент, докторант Дагестанского государственного технического университета.

Литвинов Степан Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов» Ростовского государственного строительного университета.

E-mail: litvstep@gmail.com

Магомадов Рустам Абу-Муслимович – старший преподаватель кафедры “Электротехники и электропривода” ФГБОУ Грозненский государственный нефтяной технический университет.

Магомедов Арсен Муталимович - аспирант кафедры теоретической и общей электротехники факультета компьютерных технологий, вычисли-

тельной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Пиняскин Владимир Викторович – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Рамазанова Джамиля Кадировна – аспирант кафедры теоретической и общей электротехники факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

Устарханов Осман Магомедович - доктор технических наук профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций и гидротехнических сооружений архитектурно-строительного факультета Дагестанского государственного технического университета.

Устарханов Тагир Османович - инженер кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений архитектурно-строительного факультета Дагестанского государственного технического университета.

Хамидова Равзанат Расулбеговна – аспирантка 2 года обучения Дагестанского государственного технического университета.

Чепурненко Антон Сергеевич — аспирант кафедры «Соппротивление материалов» Ростовского государственного строительного университета.

E-mail: anton_chepurnenk@mail.ru

Шихалиев Серго Сейфудинович - кандидат технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы технологического факультета Дагестанского государственного технического университета.

Языев Батыр Меретович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Соппротивление материалов», директор Дорожно–транспортного института Ростовского государственного строительного университета.

E-mail: sopromat@rgsu.ru

Языев Сердар Батырович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика» Ростовского государственного строительного университета.

E-mail: serdar@rgsu.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

Верстка журнала осуществляется с электронных копий. Используется компьютерная обработка штриховых и полутоновых (в градациях серого) рисунков. Журнал изготавливается по технологии офсетной печати. В редакцию журнала необходимо представить:

- распечатку рукописи (2 экз.). Распечатка должна представлять собой твердую копию файла статьи;
- электронную копию, допустима передача по электронной почте;
- элементы заглавия на английском языке (1 экз.);
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати (1 экз.);
- справку об авторах и ее электронную копию (1 экз.);
- рекомендацию кафедры (отдела) к опубликованию (следует указать предполагаемую рубрику) (1 экз.);
- две рецензии от докторов наук. Подписи рецензентов должны быть заверены по месту их работы;
- сопроводительное письмо (1 экз.) для сторонних авторов.

Правила оформления текста

Текст подготавливается в текстовом редакторе MicrosoftWord. Статья должна предусматривать разделы: «Введение», «Постановка задачи», «Методы испытаний», «Результаты эксперимента и их обсуждение», «Выводы» или «Заключение». Объем статьи не должен превышать 6-7 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий.

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType.

Шрифтовое начертание обозначений в формулах, в таблицах и в основном тексте должно быть полностью идентичным.

Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках, ссылки на использованные источники (литературу) - в квадратных прямых.

Формат бумаги А4. Параметры страницы: поля - левое 3 см, верхнее и нижнее 2 см, правое 1,5 см; колонтитулы отсутствуют.

Элементы заглавия публикуемого материала

- УДК/ББК
- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий).
- Название статьи.
- Аннотация - 3-7 строк, характеризующих содержание статьи.
- Ключевые слова - 3-10 слов и словосочетаний, отражающих содер-

жание статьи, разделенных запятыми.

Каждый элемент заглавия приводится, начиная с новой строки, выравнивание проводится по левому краю.

Основной текст

Шрифт TimesNewRoman 14pt, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1 см, межстрочный интервал - 1.

Список литературы

Строка с текстом «**Библиографический список:**».

Собственно библиографический список: каждая ссылка с номером в отдельном абзаце выполняется по ГОСТ 7.1-2003. Библиографическое описание документа. Введ. 01.07.2004. М.: Изд-во стандартов, 2004.

Не должен превышать 10 наименований; приводятся только источники, на которые есть ссылки в тексте (ссылки на неопубликованные работы не допускаются).

Ссылки на материалы, размещенные на электронных носителях, следует давать лишь в крайнем случае. Редакция оставляет за собой право потребовать от автора замены ссылки, если на момент обработки статьи по указанному адресу материал будет отсутствовать.

Элементы заглавия на английском языке

- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий).
- Название статьи.
- Аннотация.
- Ключевые слова.

Элементы заглавия на английском языке должны представлять собой перевод соответствующих элементов заглавия, приведенных на русском языке перед основным текстом.

Верстка формул

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType; нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи; использование при нумерации букв и других символов не допускается.

Выписанные в отдельную строку формулы выравниваются по середине строки, номер (при необходимости) заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю текста. Все впервые встречающиеся в формуле обозначения должны быть расшифрованы сразу после формулы.

Верстка рисунков

Рисунки, представляющие собой графики, схемы и т. п., должны быть выполнены в графических векторных редакторах (встроенный редактор MicrosoftWord, CorelDraw, MicrosoftVisio и т. п.). Использование точечных

форматов (.bmp, .jpeg, .tif, .html) допустимо только для рисунков, представление которых в векторных форматах невозможно (фотографии, копии экрана монитора и т. п.).

Верстка таблиц

Таблица состоит из следующих элементов: нумерационного заголовка (слова «Таблица» и ее номера арабскими цифрами); шапки (заголовочной части), включающей заголовки граф (объясняют значение данных в графах); боковика (первой слева графы) и прографки (остальных граф таблицы).

Справка об авторах

Включает для каждого автора фамилию, имя, отчество (полностью), год рождения, ученую или академическую степень, ученое звание (с датами присвоения и присуждения), краткую научную биографию (не более 5-6 строк), название организации. Если ученых и/или академических степеней и званий нет, то следует указать место получения высшего образования, год окончания вуза и специальность. Далее указывается область научных интересов, количество печатных научных работ и адрес электронной почты при наличии.

План-график издания журнала

Выпуск 1 (март) – прием статей до 31 декабря предыдущего года;

Выпуск 2 (июнь) – прием статей до 31 марта текущего года;

Выпуск 3 (сентябрь) – прием статей до 30 июня текущего года;

Выпуск 4 (декабрь) – прием статей до 30 сентября текущего года.

Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и магнитные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи. Рукописи аспирантов публикуются бесплатно.

Адрес редакционного совета: 367015, РД, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, ФГБОУ ВПО «ДГТУ», Учебно-лекционный корпус 2, редакция журнала «Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки». Технические вопросы можно выяснить по электронному адресу: vestnik.dgtu@mail.ru и по телефону 8(8722)62-39-64.

Министерство образования и науки РФ



ВЕСТНИК Дагестанского государственного технического университета

ТОМ 33 2 - 2014

Вестник Дагестанского государственного технического университета.
Технические науки. Махачкала, 2014. – Том 33(2). – 110 с.

Верстка: Бутаева А.Т.

Адрес редакции:

367015, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВПО «ДГТУ»

Тел./факс (8722)623715

(8722)623964

E-mail: vestnik.dgtu@mail.ru

Подписано в печать 30.06.2014г. Сдано в печать 30.06.2014г.

Формат 60*84 1/8. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 14. Уч. изд.л. 14

Заказ № 0115

Отпечатано в ИПЦ ФГБОУ ВПО «ДГТУ»

367015, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70.