

НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «АЭТЕРНА»



**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ
АСПЕКТЫ**

КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

ВЫПУСК 5

Уфа
АЭТЕРНА
2016

УДК 00(082)
ББК 65.26
А 38

Рецензенты:

- 1. Прошин И.А., д.т.н., проф.**
- 2. Шляхов С.М., д.ф.-м.н., проф.**

А 38 Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты: коллективная монография [под ред. И.А. Григорьева] . - Уфа: Аэтерна, 2016. – 192 с.

ISBN 978-5-906869-49-4

Коллективная монография «Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты» посвящена широкому кругу проблем, которые находятся в центре внимания. Монография призвана дать представление о актуальных теоретических и практических вопросах технических наук.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а так же за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 00(082)
ББК 65.26

ISBN 978-5-906869-49-4

© ООО «Аэтерна», 2014
©Коллектив авторов, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая читателю работа – яркий пример междисциплинарности. Представители ряда наук в области естествознания (Архитектура, Информатика, Материаловедение, Механика, Машиностроение, Ядерная энергетика и т.д.) объединяются, чтобы исследовать явления, важные для создания и развития техники

Монография, по нашему мнению, будет интересна и полезна научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам вузов. Данная книга, на наш взгляд, окажет также несомненную и немалую пользу всем, кто интересуется проблемами развития и становления психологии и педагогики. Хочется отметить, в связи с этим, прекрасный язык и стиль многих авторов, нередко приближающийся к художественному, а также высококачественные издательские характеристики книги, отличный дизайн, удачное структурирование излагаемого материала.

Начатая коллективом авторов работа, безусловно, имеет будущее, которое приведет к увеличению как круга поднятых вопросов, так и решения иных задач.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОДНОЧАСТОТНЫХ СЕТЕЙ ЭФИРНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Аннотация

Анализируются способы построения сетей эфирного цифрового телевизионного радиовещания в стандарте DVB - T2. Приводятся практические данные по реализации одночастотных сетей цифрового телерадиовещания с использованием современной технологии **MISO**. Рассматриваются вопросы многоуровневого мониторинга сетей цифрового телерадиовещания.

Ключевые слова

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕРАДИО ВЕЩАНИЕ, СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ, ОДНОЧАСТОТНАЯ СЕТЬ, ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, МУЛЬТИПЛЕКС, ПЕРЕДАЮЩАЯ СТАНЦИЯ, СИНХРОНИЗАЦИЯ

В России разработана и уже осуществляется концепция поэтапного перехода к цифровому телерадиовещанию благодаря очевидным преимуществам цифровых методов передачи информации перед аналоговыми методами.

Внедрение системы цифрового телерадиовещания происходит на базе существующей структуры с внесением в нее необходимых изменений и дополнений.

Сеть цифрового телерадиовещания РФ создается в соответствии с Федеральной целевой программой (ФЦП) «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 - 2018 годы», утвержденной постановлением правительства Российской Федерации от 3 декабря 2009 года №985 [1, с.204].

При разработке Федеральной целевой программы было принято решение об использовании для наземного цифрового телерадиовещания стандарта компрессии **MPEG - 4** и стандарта цифрового вещания **DVB - T2**, обеспечивающих расширение зоны покрытия, улучшающих качество цифрового телерадиовещания и позволяющих передавать до 10 телевизионных программ в одном частотном телевизионном канале. Эти качества стандарта DVB - T2 обеспечиваются за счет специальных технологических особенностей:

- вращения созвездия QAM - модулированного сигнала, которое обеспечивается в различных видах модуляции для получения наивысшей кодовой скорости сигналов в сложных каналах передачи данных;

- специальные меры уменьшения отношения пиковой к средней мощности (PAPR – Peak to Average Power Ratio) передаваемого сигнала, которые приводят к повышению эффективности высокочастотных усилителей мощности;

- режим передачи MISO (multiple input single output – много входов, один выход) с использованием модифицированной формы кодирования Alamouti, позволяющей

улучшить качество цифрового телерадиовещания в областях перекрытия зон обслуживания передатчиков.

В системах наземного цифрового телевизионного вещания возможны два типа сетей, представленных на рисунке 1:

- многочастотные сети (МЧС), в которых в совмещённых каналах возможно передача различных программ с помощью отдельных территориально разнесенных на координатное расстояние передатчиков, как это делается в аналоговом радиовещании. Частотное планирование в такой многочастотной сети осуществляется на основе традиционных принципов аналогового телевидения;

- одночастотные сети (ОЧС) с распределённым излучением, в которых требуемая зона вещания обеспечивается путем использования нескольких маломощных передатчиков, работающих в соседних зонах обслуживания в одном и том же частотном канале и передающих одни и те же программы.

В многочастотных сетях для покрытия участка территории, который не может быть обслужен с помощью одной станции, используется несколько передающих станций. Попытка совместной работы нескольких близкорасположенных передатчиков аналогового вещания (синхронно передающих одну и ту же программу) на одной частоте приводит к появлению взаимных помех, обусловленных относительным сдвигом по времени моментов прихода сигналов от этих станций в точку приема. Сдвиг по времени вызывается неодинаковой длиной трасс распространения сигналов от передающих станций до места приема. Поскольку для разных точек приема в зоне обслуживания величина этого сдвига будет отличаться, он не может быть скомпенсирован введением линий задержки на передающих станциях.

Для предотвращения появления для разных станций задействуются раз - личные частотные каналы, при этом эффективность использования частотного ресурса не высока [1, с.146].

При переходе на цифровое телевизионное вещание преимущество использования МЧС состоит в том, что большая часть инфраструктуры существующей аналоговой сети может быть использована без существенной доработки. Прежде всего, это касается низких требований к первичной сети доставки программ до передающих станций, отсутствия необходимости в создании центров мультиплексирования программ и синхронизации передающих станций.

В одночастотных сетях систем эфирного цифрового вещания, в которых используется кодовая многочастотная модуляция (COFDM) и введен защитный интервал между последовательно передаваемыми символами, существует возможность приема наряду с основным (полезным сигналом) также запаздывающих (например, отраженных от препятствий на местности) сигналов в том случае, если величина запаздывания не превышает величину защитного интервала. При достаточно большой величине защитного интервала это позволяет осуществлять также прием сигналов других полезных станций, работающих в том же частотном канале.

При этом все принятые на ненаправленную антенну полезные сигналы складываются в приемнике при условии использования технологии MISO, что позволяет значительно улучшить качество приема. Эффект суммирования сигналов от разных передатчиков получил название усиление сети.

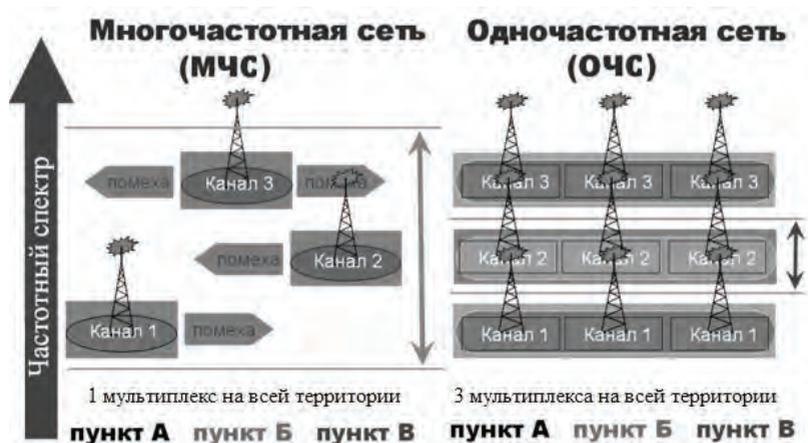


Рисунок 1

Преимущества использования одночастотных сетей:

- больший процент мест уверенного приема в зоне обслуживания, значительное уменьшение количества зон тени;
- более равномерное распределение мощности полезного сигнала по зоне обслуживания;
- меньшая требуемая мощность передающих станций и как следствие, более низкие энергетические затраты на покрытие зоны обслуживания по сравнению с одной мощной станцией, обслуживающей такую же территорию (несмотря на наличие нескольких станций);
- меньший уровень помех другим РЭС за счет меньшей мощности и высоты подвеса антенн передающих станций;
- отсутствие необходимости строительства высотных антенных опор и мощных передающих центров;
- отсутствие излучений высокой интенсивности, характерных для мощных РТПЦ и требующих специальных мероприятий по снижению вредного воздействия на человека;
- более высокая надежность (сохраняется прием программ на части зоны обслуживания в случае выхода из строя одной или нескольких из передающих станций).

Одночастотная сеть, как правило, строится из нескольких станций меньшей мощности, по сравнению с мощностью одиночной передающей станции, требуемой для обслуживания такой же территории. Эти станции размещаются на антенных опорах небольшой высоты и, как правило, являются необслуживаемыми (рисунок 2). В одночастотной сети может использоваться ненаправленная приемная антенна.

Повышение процента мест уверенного приема сигнала в одночастотной сети по сравнению с приемом сигнала одной полезной станции особенно заметно в случае пересеченной местности или городской высотной застройки, когда наличие нескольких полезных сигналов, приходящих с разных направлений

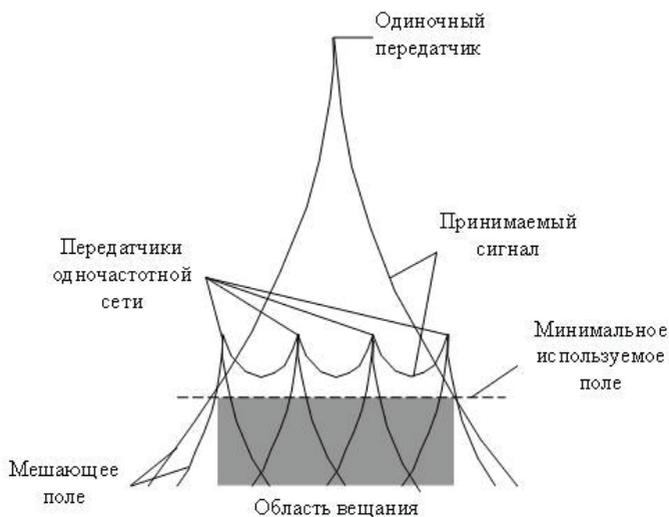


Рисунок 2

позволяет скомпенсировать негативный эффект от ослабления одного или нескольких из них препятствиями на местности. В одночастотной сети благодаря значительному сокращению числа локальных зон неуверенного приема и зон тени становится возможным обеспечение непрерывного приема в движении (мобильного или портативного приема) в сложных условиях.

Использование передатчиков меньшей мощности требует принципиально новых подходов к строительству передающей инфраструктуры. В качестве опор для подвеса передающих антенн таких станций могут быть использованы имеющиеся высотные здания и сооружения или естественные возвышения на местности. Средством доставки программ на передающие станции является спутниковый канал или радиорелейная система связи. Синхронизация передающих станций, как правило, также осуществляется по этим же каналам связи.

Таким образом, построение одночастотных передающих сетей цифрово - го вещания требует тщательного проектирования. В случае неверного выбора параметров модуляции, мощностей, расстояний между передающими станциями и других величин между полезными сигналами различных станций могут возникнуть более сильные взаимные помехи, чем в случае многолучевого распространения сигнала одного передатчика, поскольку относительные задержки в одночастотной сети могут быть значительно больше при сопоставимой мощности сигналов. В то же время использование таких сетей дает значительный выигрыш по качеству приема и, в то же время, уменьшает расход дефицитного частотного ресурса.

Подача сигналов телевизионных программ на передатчики одночастотной сети может производиться тремя способами [2, с.12].

1. Первый способ реализации ОЧС, в котором в качестве передатчиков используются гапфиллеры (gap - fillers), представляющие собой ретрансляторы и служащие для усиления

и переизлучения принятого радиосигнала на той же самой частоте без демодуляции, представлен на рисунке 3. Гапфиллеры делятся на два вида – профессиональные и домашние. Профессиональные ретрансляторы используются для построения одночастотных сетей, а домашние – для восстановления сигнала на небольших территориях – подъездах, дворах.

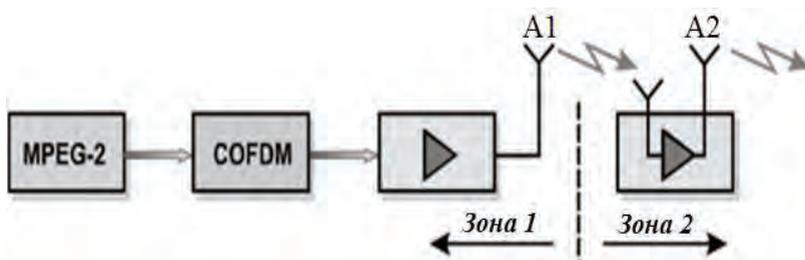


Рисунок 3.

Гапфиллер вносит минимальную задержку в переизлучаемый сигнал, в противном случае нарушилась бы синхронизация сигнала.

Схема работы гапфиллера представлена на рисунке 4.

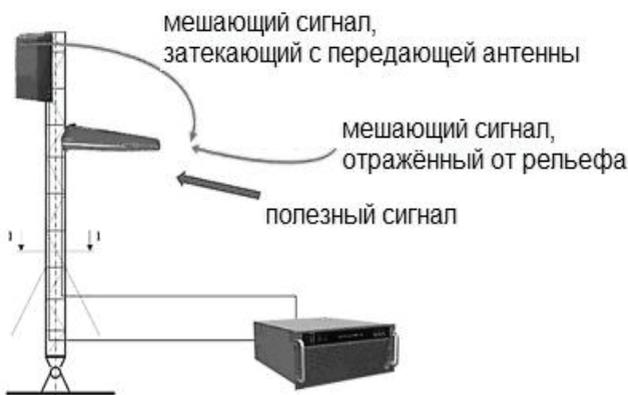


Рисунок 4.

Для устойчивой работы гапфиллера необходимо выполнение 2 - х условий:

- разница между коэффициентом изоляции приёмной и передающей антен - ны и выходной мощностью должна быть больше 10 дБ;
- уровень **полезного** входного сигнала на входе гапфиллера должен быть больше расчётного на 5 - 10 дБ для компенсации селективных искажений спектра, вызванных нестабильностью канала приёма.

2. Второй способ реализации ОЧС, при котором сформированный транспортный поток поступает на один общий кодовый многочастотный модулятор (COFDM), от которого

модулированный телевизионный сигнал поступает на оконечные усилители мощности, находящиеся на каждой передающей станции. Пример такой организации приведён на рисунке 5. При этом используется аналоговое распределение по промежуточной частоте сигнала (например, посредством волоконно - оптической или радиорелейной линии связи) COFDM сигнала к каждому из передатчиков. При этом также в сети используется единственный COFDM кодер.

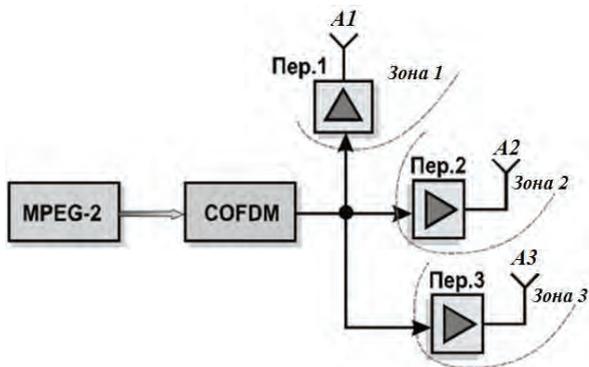


Рисунок 5.

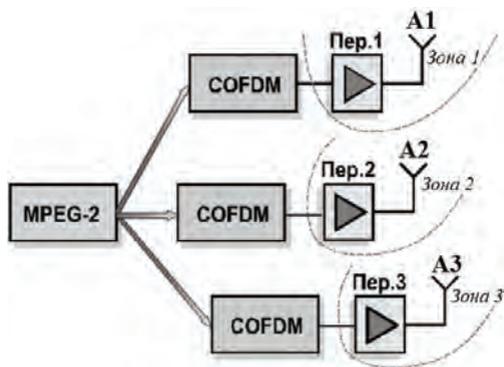


Рисунок 6.

3. При третьем способе, представленном на рисунке 6, сформированный транспортный поток, имеющий в своём составе МIP - пакеты (пакеты инициализации мегафрейма), с помощью транспортной сети доставляется до формирователя каждой из передающих станций.

Все передающие станции, входящие в такую сеть, должны работать строго синхронно, следовательно, при организации такой сети требуется выполнить два главных условия:

- частотная синхронизация;
- временная синхронизация.

Сигнал COFDM состоит из множества параллельных несущих, и каждая из этих тысяч несущих, передаваемая целым семейством передатчиков, работающих в единой ОЧС, должна излучаться на одной и той же высокой частоте (рисунок 8). Требуемая точность зависит от частотного интервала между соседними несущими, и в режиме 2К максимальный уход частоты должен составлять не более 4,5 Гц, а в режиме 8к – не более 1,1 Гц. Такая стабильность реализуется благодаря синхронизации каждого передатчика с высокоточными генераторами спутников GPS или ГЛОНАСС, нестабильность которых составляет 10^{-11} .

Временная синхронизация подразумевает, что каждый символ должен излучаться в один и тот же момент из нескольких мест, независимо от временной задержки, вводимой магистральной распределительной сетью (рисунок 9). В качестве транспортной сети может использоваться волоконно - оптическая линия, радиорелейная линия, а также спутниковый канал. Применение того или иного способа доставки зависит от отдалённости друг от друга передающих станций, рельефа местности, а также экономической целесообразности.

К транспортной сети предъявляются следующие требования:

- максимальная задержка распространения сигнала в транспортной сети не должна превышать 1 секунду;
- должен быть сохранен порядок следования пакетов потока и положение синхробайта в пакете;
- должна быть обеспечена идентичность тактовых частот между выходом формирователя транспортного пакета (выходом транспортной сети) и входом эфирного модулятора (выходом транспортной сети) с погрешностью не более 0,001 Гц;
- должны быть обеспечены циклы передачи сигналов кадровой синхронизации для всех телевизионных каналов мультиплекса (меток PCR).

Рассматриваемый вариант организации ОЧС технологически более сложный, так как требуется жёсткая синхронизация всех передатчиков сети, однако, этот способ чаще всего используется на практике при необходимости обслуживания большой территории.

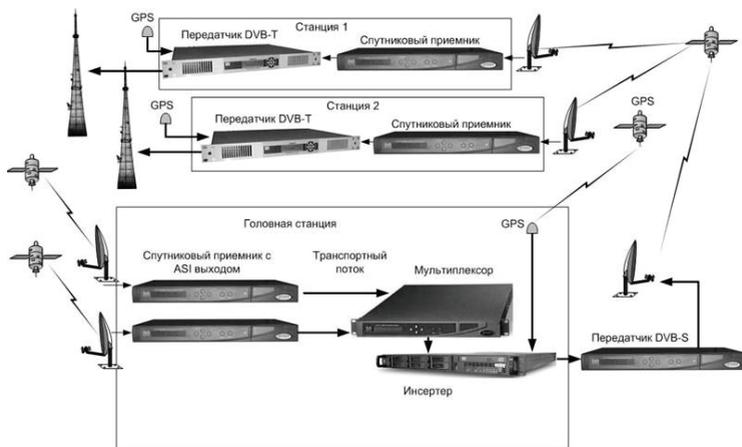


Рисунок 7

Пример построения ОЧС с использованием спутникового сегмента для доставки транспортного потока приведён на рисунке 7 [3, с.19].

Маломощные передающие станции ОЧС реализуются в виде необслуживаемых модулей, в состав которых входят: передатчик, спутниковый приемник, конверторы, маршрутизаторы, блок системы дистанционного контроля, коммутаторы, источники бесперебойного питания.

К основным требованиям, которые необходимо выполнить при реализации ОЧС, относятся:

а) транспортный поток должен быть сформирован мультиплексором, который имеет приемник GPS, а также обеспечивает возможность вставлять пакеты инициализации мегаструктуры;

б) все передатчики должны быть синхронизированы приемниками GPS;

в) сеть должна быть оптимизирована регулировкой защитного интервала для того, чтобы свести интерференцию в зонах взаимного влияния передатчиков к минимуму.

Такая технология — самая сложная, но в то же время и самая совершенная, гибкая и мощная. Она может использоваться в комбинации с любой из двух вышеупомянутых альтернативных технологий или в сочетании с обеими сразу.

Для одночастотной технологии необходимо, чтобы сигнал, принимаемый от любого передатчика, был идентичен с эхо - сигналом, полученным от любого другого передатчика данной сети. Как следствие, все связанные сигналы данной одночастотной сети должны быть идентичными, то есть должны быть синхронизированы по времени, по частоте и на уровне передачи битов.

Частотная синхронизация. COFDM сигнал состоит из множества параллельных несущих, и каждая из этих тысяч несущих, передаваемая целым семейством передатчиков, работающих в единой одночастотной сети, должна излучаться на одной и той же высокой частоте. Требуемая точность частоты зависит от частотного интервала между соседними несущими, который часто именуется как «разнос несущих частот», обозначается Δf .

Если за f_k обозначить идеальную позицию k несущей в спектре ВЧ несущей, то каждый из передатчиков должен излучать эту k несущую с допуском не хуже:

$$\mathcal{F} = f_k \pm \frac{\Delta f}{1000}$$

Для выполнения этого требования все каскадно включенные гетеродины передатчиков (от базовой полосы baseband до выходной частоты) должны иметь допуск по стабильности не хуже, чем это определено вышеприведенной формулой. Так, если разнос несущих частот для режима 8k составляет 1116 Гц, то стабильность частоты должна быть не хуже 1,1 Гц (для режима 2k — 4,5 Гц). Такая стабильность достигается проще за счет использования гетеродинов с внешним генератором опорного сигнала. В качестве генераторов синхронизирующих импульсов используют сигналы с GPS (Global Positioning Satellite — спутник глобального местонахождения) с частотой 10 МГц и с временной меткой 1PPS, как показано на рисунках 8 и 9.

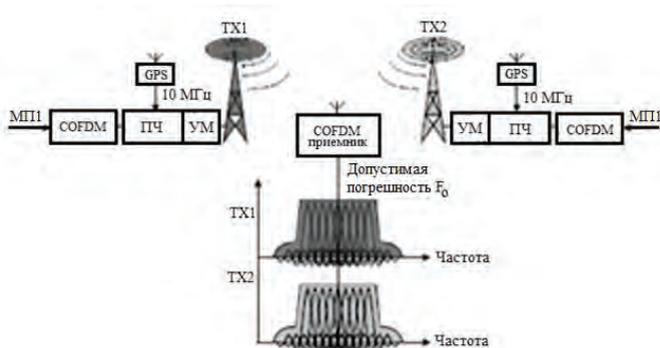


Рисунок 8

Здесь:

- COFDM — модулятор передатчика;
- ПЧ — преобразователь частоты;
- УМ — усилитель мощности;
- TX1, TX2 — сигналы, излучаемые соседними передатчиками;
- МП1 — одинаковый мультиплекс на входе передатчиков.

Временная синхронизация. Системы COFDM предусматривают возможность пересечения зон покрытия от разных передатчиков без появления помех. Причем, в пределах определенной зоны наложение сигнала от дальнего передатчика не создает помех, а, напротив, усиливает полезный сигнал. Такой эффект возможен только при временной синхронизации всех передатчиков одночастотной сети, так как один и тот же символ должен излучаться в один и тот же момент из нескольких мест, независимо от временной задержки, вводимой магистральной распределительной сетью (МРС). Из-за наличия определенной величины длительности защитного интервала (T_s) требуемая точность синхронизации не очень высока. Считается, что точность временной синхронизации с разбросом в пределах ± 1 мкс является вполне достаточной (рисунок 9).

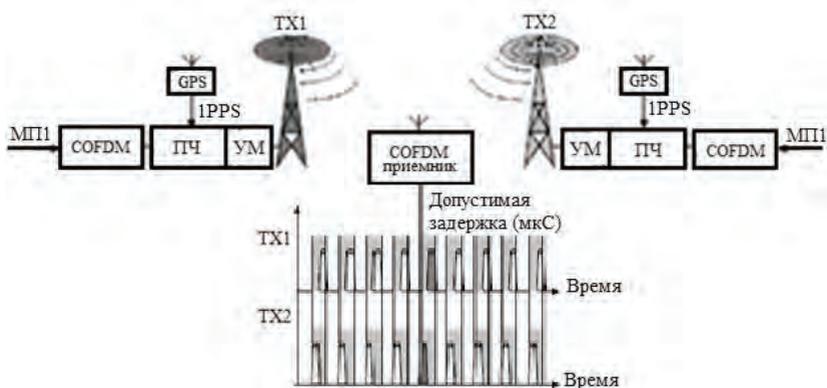


Рисунок 9

Тем не менее, следует отметить встречающиеся практические случаи работы одночастотных сетей, связанные с неизбежным наличием эхо - сигналов. В частности, когда временная задержка эхо - сигналов превышает длительность защитного интервала, будет наблюдаться эффект очень быстрой деградации рабочих характеристик, обязанной двум причинам:

1. Нарушается правило ортогональности из - за межсимвольных помех, что приводит к резкому увеличению вероятности ошибки (BER). Разумеется, что большее значение BER будет соответствовать более высокой скорости передачи цифрового потока, то есть режиму 256QAM, а не QPSK.

При наличии эхо - сигналов, задерживаемых свыше четверти полезной длительности символа T_U , детектор приемника не в состоянии правильно его распознать. Следует помнить, что режим $T_U / 4$ является предельным в части предоставления предельно допустимых скоростей, однако наиболее защищенным в части эхо - сигналов. Как следствие, фактическая зона покрытия набором одночастотных передатчиков строго зависит от рабочих характеристик подсистемы временной синхронизации. Всякое смещение синхронизации в конкретном узле сети можно рассматривать как изменение зоны покрытия или, что фактически эквивалентно, изменение требуемого отношения сигнал / шум (C / N) на входе приемника.

Таблица 1

параметр сравнения	вариант 1 с использованием гапфиллеров	вариант 2 с использованием общего COFDM	вариант 3 с использованием отдельных COFDM
формирование MPEG TS	на головной станции (в центре мультиплексирования)	на головной станции (в центре мультиплексирования)	на головной станции (в центре мультиплексирования)
вид передаваемого сигнала до станции	радиотелевизионный сигнал	модулированный телевизионный сигнал	модулированный телевизионный сигнал MPEG TS
способ доставки сигнала до станции	распространение радиоволн в пространстве	по ВОЛС	по РРЛ, с использованием спутникового сегмента, по ВОЛС
синхронизация на станции	нет необходимости	нет необходимости	с помощью системы GPS или ГЛОНАСС

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика всех способов реализации ОЧС цифрового телевизионного вещания. По итогам рассмотрения способов построения одночастотных сетей можно сделать вывод:

– в случае использования одного общего модулятора (1 и 2 варианты) проблема синхронизации решается значительно проще, однако, доставка модулированного сигнала до станции сопровождается рядом сложностей;

– использование гапфиллеров возможно только в том случае, когда необходимо покрыть телевизионным сигналом зону, отделённую от ведущего передатчика какими - либо препятствиями. Однако, для реализации этого способа необходимо, чтобы передающая антенна гапфиллера была изолирована от передающей антенны главного передатчика;

– реализация ОЧС по варианту 3 является более сложным и дорогостоящим способом, однако, позволяет организовать одночастотную сеть на большой территории, с различным удалением передающих станций друг от друга. Проблема синхронизации решается с помощью установки в каждом необслуживаемом модуле приёмника GPS / ГЛОНАСС с антенной, с помощью которого ФТС передатчика синхронизируется с высокоточным генератором на спутнике.

В качестве примера можно привести данные ОЧС цифрового телевизионного вещания Еврейской автономной области (ЕАО), построенной в 2011 году. ОЧС организована по 3 варианту с использованием COFDM на каждой передающей станции.

В настоящий момент на территории ЕАО действуют 27 передающих станций, из которых 24 станции работают на 34 ТВК, а 3 – на частоте 47 ТВК. Центральной (узловой станцией РРЛ) является станция г. Биробиджан, от которой расходятся три ветки:

- Облученская включает в себя 13 передающих станций;

- ветка Октябрьского и Ленинского районов включает 11 станций;

- Сидовичская – 3 станции, работающие на частоте 682 МГц и не входящие в одночастотную сеть области, однако, транспортный поток, доставляемый на передатчики, содержит MIP - пакеты, следовательно, в случае перекрытия зон обслуживания этих передающих станций, также будут наблюдаться все признаки одночастотной сети.

Передающая станция г. Биробиджан является узловой, при этом транспортный поток, формируемый в центре кодирования и мультиплексирования в городе Биробиджан, поступает по волоконно - оптической линии связи на оборудование станции, а затем разделяется в трёх направлениях и передаётся уже по разветвленной областной сети РРЛ на соседние станции каждой ветки.

В сети используются передатчики производства Rohde&Schwarz и Vigintos Elektronika.

Таблица 2

параметр вещания	значение
ширина полосы частот	8 МГц
первичная модуляция	64QAM
скорость внутреннего кодирования	3 / 4
вторичная модуляция	OFDM
режим модуляции	8k
защитный интервал	1 / 4
длительность защитного интервала	224 мкс
длительность полезного символа	672 мкс
общая длительность символа	896 мкс
общая сетевая задержка	999 мс
частота (номер ТВК)	578 МГц (34)

	682 МГц (47)
способ компрессии видео	MPEG - 4 H.264 / AVC
способ компрессии звука	MPEG - 1

В таблице 2 приведены параметры вещания ОЧС.

Маломощные передающие станции реализуются в качестве необслуживаемых модулей, в состав которых кроме самого передающего оборудования (формирователь, необходимое количество каскад усилителей) входят также: блок дистанционного контроля, конверторы IP / ASI, внутренний блок радиорелейного оборудования, оборудование климат контроля, а также различные датчики сигнализации. К тому же на наружной стене модуля или на его крыше располагается GPS / ГЛОНАСС антенна.

Для исключения взаимных помех от соседних передатчиков в одночастотных сетях для неискаженного приема сигналов необходимо использовать направленные антенны в пределах действия каждого передатчика. Наиболее чувствительны в этом отношении приемники на границах зон обслуживания соседних передатчиков.

С целью уменьшения интерференционных искажений сигналов в областях перекрытия зон обслуживания соседних передатчиков в одночастотных сетях цифрового телерадиовещания используется **технология MISO**. Основное различие вещания в режиме **MISO** и стандартного сетевого вещания заключается в том, что в режиме **MISO** формируются две различные версии полезного сигнала в передатчиках соседних зон цифрового телерадиовещания.

Обработка сигнала в режиме **MISO**, осуществляемая с помощью модифицированного алгоритма **Alamouti**, позволяет уменьшить пороговое отношение сигнал / шум, при котором обеспечивается безошибочный прием информационного сигнала.

Режим **MISO** также способствует уменьшению неравномерности границ зон обслуживания. Локальные впадины и неравномерность границ зон обслуживания образуются благодаря интерференционному взаимодействию сигналов соседних передатчиков одночастотной сети.

При использовании портативных и мобильных приемников, как правило, кодирование **Alamouti** наиболее эффективно, поскольку они снабжены всенаправленными приемными антеннами, что увеличивает вероятность перекрытия зон обслуживания соседних передатчиков.

Принцип пространственно - временного кодирования сигналов двумя антеннами [4, с.163], применяемый в технологии **MISO**, показан на рисунке 10, где d_1, d_2 - комплексные сигналы; d_1^*, d_2^* - сигналы, комплексно сопряженные с сигналами d_1, d_2 . Матрица полученных сигналов называется пространственно - временным блоком **Alamouti**.

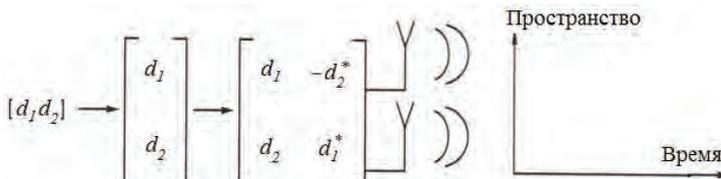


Рисунок 10.

Принцип кодирования блока **Alamouti** состоит в том, что подлежащая передаче последовательность комплексных сигналов разбивается на пары (четные и нечетные) d_1 и d_2 . Для их передачи используются две антенны и два временных интервала. В первом временном интервале излучаются сигналы « d_1 и d_2 », во втором « $-d_2^*$, d_1^* ». Эти сигналы формируются в соответствии со следующими выражениями:

$$d_1 = a_1 + jb_1; d_2 = a_2 + jb_2;$$

$$-d_2^* = -a_2 + jb_2; d_1^* = a_1 - jb_1,$$

здесь a_i , b_i - соответственно действительная и мнимая составляющие i -го комплексного сигнала.

Отсюда следует, что:

- если на первом интервале времени сигналы синфазные, то на втором интервале времени они противофазные и наоборот;
- на обоих интервалах времени сигналы ортогональны с той лишь разницей, что опережение фазы излучения будет поочередно возникать то на первой антенне, то на второй.

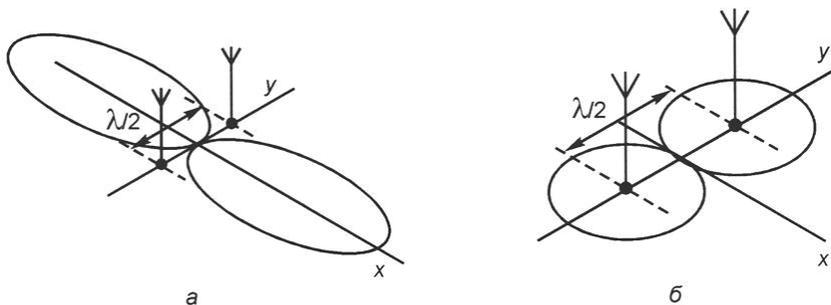


Рисунок 11

Так как направление излучения двухантенной системы зависит от соотношения фаз сигналов на ее антеннах, то направления суммарного излучения пар сигналов в разные интервалы времени будут различаться (рисунок 11).

На рисунке 11:

а – синфазная запитка излучателей;

б – противофазная запитка излучателей.

В технологии **MISO** для приема сигнала, кодированного блоком **Alamouti**, используется одна ненаправленная антенна (с круговой диаграммой направленности). Сигналы на входе приемной антенны описываются выражениями:

$$\begin{cases} r_1 = h_1 d_1 + h_2 d_2 + n_1 \\ r_2 = -h_1 d_2^* + h_2 d_1^* + n_2 \end{cases} \quad (1)$$

где r_1 , r_2 - сигналы на входе приемной антенны на первом и втором интервалах времени соответственно; h_1 , h_2 - комплексные коэффициенты передачи канала (так называемые фединги).

В приемном устройстве на основе принятых сигналов r_1 и r_2 получаются две линейные комбинации:

$$\begin{cases} \hat{d}_1 = h_1^* r_1 + h_2 r_2^*, \\ \hat{d}_2 = h_2^* r_1 - h_1 r_2^*. \end{cases} \quad (2)$$

Физическую сущность повышения помехоустойчивости при использовании технологии **MISO** можно пояснить, подставив выражение 1 в 2. Опуская аддитивные шумы канала связи, получаем:

$$\begin{cases} \hat{d}_1 = (|h_1|^2 + |h_2|^2) d_1, \\ \hat{d}_2 = (|h_1|^2 + |h_2|^2) d_2. \end{cases} \quad (3)$$

Откуда следует, что энергия сигнала увеличивается пропорционально квадрату модулей федингов канала связи. Увеличение энергии сигнала повышает отношение сигнал / шум на входе декодера приемника.

Общая конфигурация одночастотной сети цифрового телерадиовещания с технологией **MISO** приведена на рисунке 12. Из схемы видно, что одним из основных отличий **MISO** и стандартного сетевого вещания заключаются в том, что в сети с технологией **MISO** передаются две различные версии полезного сигнала.

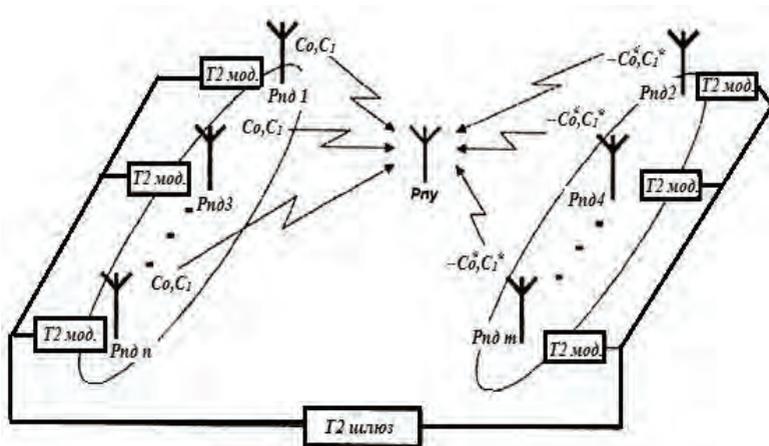


Рисунок 12

Обычно передатчики географически расположены на разных расстояниях. Передача нескольких версий полезного сигнала в режиме **MISO** позволяет повысить отношение сигнал / шум в сети или увеличить скорость передачи данных.

Стандарт DVB - T2 основан на модифицированном виде схемы **Alamouti**, одном из целого ряда различных возможностей. Одним из основных преимуществ этой конкретной

схемы является то, что он может быть реализован относительно простым способом. Использование только одной ненаправленной приемной антенны схема **Alamouti** позволяет получить значительное улучшение сигнал / шум.

Основные операции **Alamouti** в сети на основе технологии **MISO** можно понять, обратившись к рисунку 12. Каждый из нескольких передатчиков сети входит в одну из групп, где каждый передатчик рассматривается как источник полезной информации в паре ячеек [1, с.164].

Источники сигнала первой группы передают немодифицированную версию каждого созвездия, такой, какой они были бы в «стандартных» одночастотных сетях. Первая пара ячеек показана, как **C0** и **C1** на схеме.

Источники сигнала во второй группе передают измененную версию пары каждого созвездия в обратном порядке. Вторая группа передает **C1*** и **C0***, где * означает операцию сопряжения.

Приемник восстанавливает компоненты из комбинированных сигналов относительно простым способом, который не требует больших дополнительных сложностей по сравнению со стандартным приемником без обработки по алгоритму **MISO**.

На схеме также показаны две части оборудования, которые необходимы для того, чтобы сеть работала правильно: T2 шлюз и DVB - T2 модуляторы.

T2 шлюз (интерфейс T2 модуляторов) формирует T2 - **MISO** поток, который содержит всю информацию, необходимую для описания содержания и меток времени T2 кадров. T2 - **MISO** поток подается на T2 модуляторы, которые обеспечивают требуемые задержки и **Alamouti** кодирование.

Все передатчики в **MISO** сети привязываются к базовой частоте. Таким образом, сигналы синхронизированы по частоте и времени так же, как в «стандартной» одночастотной сети. Обычно для этой цели используются GPS –приемники. На рисунке 12 показано неограниченное количество передатчиков на группу, хотя это возможно и не бывает на практике. При построении DVB - T2 **MISO** одночастотной сети практически на каждую группу обычно приходится по два или три передатчика.

Мониторинг качества в сетях цифрового телевизионного вещания реализуется за счет применения контрольно - измерительной техники, способной выявить неполадки до того, как они окажут заметное влияние на качество передаваемой информации. Требования к устройствам и системам мониторинга достоверности, рассчитанным на применение в сфере цифрового телевизионного вещания, разработаны исходя из проблем, с которыми приходится сталкиваться вещателям при использовании систем управления и контроля качества [5].

Поскольку каналы распределения и передачи в цифровых телевизионных системах предусматривают последовательности этапов цифровой обработки сигналов и цифровой обработки данных, то мониторинг достоверности должен быть многоуровневым, как показано на рисунке 13. Здесь СМС – система мониторинга сети. Для того чтобы удостовериться (то есть выполнить мониторинг достоверности), что все звенья производственной цепи работают правильно и эффективно, вещателям, в общем случае, необходимы зонды на всех уровнях.

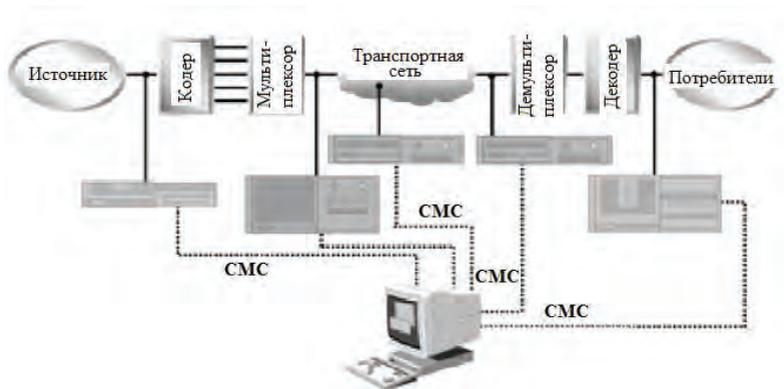


Рисунок 13.

Проверка только одного уровня может дать искаженную картину работоспособности системы.

Габариты оборудования и его цена являются традиционными факторами, которые учитываются при создании систем мониторинга достоверности. Большие модульные системы используются в центральных узлах с большим количеством сигналов и мультиплексированных потоков. На передающих станциях ОЧС используются портативные системы, а бригады установки и обслуживания телевизионных передатчиков используют ручные зонды мониторинга достоверности.

На российском рынке в сетях цифрового телевизионного вещания широко используется измерительное оборудование фирмы **Rohde & Schwarz** [5]. Благодаря собственным технологиям и новаторским идеям сотрудников фирмы, Rohde & Schwarz является одним из технологических лидеров для российских заказчиков. В 1992 году в Москве состоялось официальное открытие российского представительства фирмы Rohde & Schwarz. В 2005 году начал свою работу сервисный центр, деятельность которого осуществляется на территории России и стран СНГ. Компания является поставщиком полного ассортимента вещательного оборудования, мониторинга и измерений для сетей цифрового телевизионного вещания.

Список использованной литературы:

1. Карякин В.Л. Цифровое телевидение. Учебное пособие для вузов. – М.: Солон – Пресс, 2013
2. Ананьин А. В., Селезнёв Ю. А. «Построение и расчёт сетей цифрового телевизионного вещания. Стандарты кодирования». – Хабаровск, ХИИК, 2010
3. «Основы цифрового телевидения в стандарте DVB - T / T2» . – Новосибирск, НПП ТРИАДА - ТВ, 2012
4. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М.: Экотрендз, 2010
5. www.rohde - schwarz.ru – раздел «Система управления сетью».

© А.В. Ананьин, 2016

Ю.А.Балакин

К.т.н., доцент

А.А.Будник

К.т.н., доцент

И.В.Соколов

К.т.н., доцент

Кафедра управления качеством инновационных наукоемких производств
Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г.Разумовского (ПКУ), Москва, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА, КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ, МЕТОДОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Аннотация

В работе применен метод энергетического баланса. Разработаны математические модели движения частиц расплава в векторном и скалярном полях колебаний, а также в поле с постоянным внешним воздействием на систему. Предложен метод исследования системы машин: вибратор - волновод - кристаллизующийся расплав на основе синтеза идей механики и термодинамики.

Ключевые слова

движение, траектория, расплав, кристаллизация, внешнее воздействие, энергетический баланс

Практически любая технология, применяемая в различных отраслях производства, содержит какое - либо физико - химическое внешнее воздействие (ВнВ) на предмет производства. Это различные материалы, заготовки, сырье, из которых по разнообразным технологиям получают готовые изделия.

В заготовительном производстве машиностроения, металлургии, химии и др. отраслей также широко применяют прогрессивные процессы ВнВ на жидкие и затвердевающие среды. Такие как ультразвуковая, вибрационная, импульсная, электрогидроимпульсная (ЭГИО) и другие виды обработки расплавов и твердых заготовок из металлов, сплавов и других материалов [3].

Однако, до настоящего времени эти процессы остаются до конца не исследованными, в виду их сложности и многофакторности, что сдерживает их применение в промышленности, поэтому исследование движения различных частиц в расплавах при ВнВ на их кристаллизацию и другие процессы в затвердевающих веществах остается актуальным [2,3,15].

Известно, что для изучения механических систем, в которые входят тела или частицы с ограниченным движением, применяются различные способы, в том числе, такие фундаментальные, как методы Даламбера и Лагранжа [1].

Они широко используются при решении разнообразных задач механики, теории колебаний, позволяя получить широкий спектр уравнений движения частиц, тел, механизмов, в том числе, для изучения движения частиц сплошной среды, на которую оказывается (ВнВ) [4].

Однако, при составлении системы векторных уравнений сил и моментов по методу Даламбера встречаются трудности, связанные как с формулировкой задачи и особенно с поиском ее аналитического решения.

Аналогичные сложности встречаются при использовании метода Лагранжа. Дифференциальные уравнения высоких порядков в частных производных, получаемые по этому методу, часто не имеют точного аналитического решения, и характеристики движения находят приближенными методами.

Взаимодействие незамкнутой системы с окружающей средой часто не поддается простой формализации потому что, либо условия решений уравнений движения таких систем не сформулированы, либо очень сложны, что затрудняет запись этих уравнений и, в еще большей степени, аналитическое решение уравнений движения частиц системы, которую, в этом случае, помещают во внешнее поле [16].

С целью вывода таких уравнений, а также их решения применяют различные способы линеаризации систем дифференциальных уравнений, численные методы решения и т.п. [11,13,17].

Однако, на наш взгляд, до настоящего времени не было уделено внимания на возможности вывода уравнений движения с учетом фундаментальности закона сохранения энергии, на основе составления энергетического баланса полной энергии ВнВ на систему и количества энергии, необходимой этой системе, для реализации процессов внутри нее [3,5,19].

В общем виде, уравнение движения можно записать равенством:

$$\varepsilon(\dot{q}) + \varepsilon(q) = g_e(q, t), \quad (1)$$

где $\varepsilon(\dot{q})$ – удельная кинетическая энергия системы, зависящая от скорости изменения обобщенной координаты по времени (\dot{q}); $\varepsilon(q)$ – удельная потенциальная энергия системы, являющаяся функцией обобщенной координаты (q); $g_e(q, t)$ – удельная энергия, необходимая системе для устойчивого протекания процессов внутри нее, которая в общем случае зависит как от координаты, так и от времени.

Следует отметить, что выражения кинетической и потенциальной энергий могут быть получены преобразованием функции Лагранжа, поэтому имеется определенная преемственность данных методов.

Рассмотрим возможность применения общего уравнения энергетического баланса для описания движения частицы расплава, кристаллизующегося во внешнем акустическом поле (вибрационном поле). Тогда выражение (1) можно преобразовать с учетом известных соотношений для кинематической и потенциальной энергий, приходящихся на единицу объема расплава [1]:

$$\frac{1}{2} \rho \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\beta_{ad}} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 = g_e(x, t), \quad (2)$$

где ρ – плотность среды, кг / м³; β_{ad} – адиабатическая сжимаемость среды расплава, (Па)⁻¹; ξ – смещение частицы расплава в акустическом поле, м; t – время, с; x – координата, м.

Таким образом, получено уравнение математической модели движения расплава во внешнем акустическом поле. Оно отличается от известных уравнений движения частиц во внешнем поле наличием не одной переменной (времени), как в случае колебаний систем сосредоточенными параметрами [13], а присутствием второй переменной (координаты), характеризующей перемещение еще и в пространстве.

Очевидно, что и решение этого уравнения будет зависеть от указанных выше переменных и по физическому смыслу, вероятно, будет напоминать решение волнового уравнения, характеризующего перемещение системы с распределенными параметрами в пространстве и во времени.

Далее выполнен поиск решения уравнения математической модели (2). Это уравнение является дифференциальным линейным неоднородным уравнением в частных производных, и, вместе с тем, уравнением движения частиц расплава в акустическом поле.

Известно, что в теории уравнений математической физики общее решение таких уравнений (ξ) определяется в виде суммы решений. Первое слагаемое – это общее решение (ξ_o) однородного дифференциального уравнения (выражение (2) с правой частью $g_o(x, t)$ равной нулю). Второе – частное решение (ξ_u) неоднородного дифференциального уравнения (2) уже с той же правой частью, но отличной от нуля, как функции координаты и времени [11]:

$$\xi(x, t) = \xi_o(x, t) + \xi_u(x, t). \quad (3)$$

Найдем перечисленные составляющие данного решения. Общее решение однородного дифференциального уравнения в теории обычно представляют в виде произведения двух функций. Одна из них ($u(x)$) - зависит только от координаты, а вторая ($v(t)$) - от времени, тогда общее решение примет вид:

$$\xi_o(x, t) = u(x) \cdot v(t). \quad (4)$$

Подставляя эту функцию в исходное однородное уравнение, получим:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2(x) \cdot (v'(t))^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\beta_{oo}} \cdot v^2(t) \cdot (u'(x))^2 = 0, \quad (5)$$

где $v'(t)$ и $u'(x)$ - производные функций по времени и координате соответственно.

Последнему равенству удовлетворяют модули следующих функций:

$$|u(x)| = \exp(\pm x); |v(t)| = \exp(\pm ict), \quad (6)$$

где i - мнимая единица ($i^2 = -1$); c - скорость звука в расплаве.

Тогда общее решение однородного дифференциального уравнения имеет вид:

$$\xi_o(x, t) = |\exp(\pm x \pm ict)|, \quad (7)$$

или применив формулу Эйлера, получим: $\xi_o(x, t) = |(\cos ct \pm \sin ict) \cdot \exp(\pm x)|. \quad (8)$

Это решение содержит выражение ($x \pm ct$), входящее в качестве аргумента и в известные решения волнового уравнения в форме Даламбера [11,12], что характеризует фундаментальность полученного решения, которое описывает движение частиц расплава под влиянием внешнего поля, как в пространстве, так и во времени.

Частное решение неоднородного уравнения в теории математической физики обычно находится подбором в виде суммы функций: одна из них $\xi_u(x)$ – зависит от координаты, а другая – $\xi_u(t)$ – от времени, тогда:

$$\xi_u(x, t) = \xi_u(x) + \xi_u(t) \quad (9)$$

После подстановки этого решения в выражение (2) получим:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\xi_n'(t))^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\beta_{ao}} \cdot (\xi_n'(x))^2 = g_e(x, t), \quad (10)$$

где $\xi_n(t)$ и $\xi_n(x)$ - производные функций по времени и координате соответственно.

Введем обозначения:

$$g_e(x, t) = \rho \cdot (\xi_n'(t))^2, \quad \text{или} \quad (11)$$

$$g_e(x, t) = \frac{1}{\beta_{ao}} \cdot (\xi_n'(x))^2, \quad (12)$$

с учетом равенства (10) и получим два дифференциальных уравнения первого порядка, из которых можно найти слагаемые функции решения (9).

Интегрируя уравнение (11) по времени при начальных условиях $t=0$; $\xi_n(t)=0$, получили постоянную интегрирования (C) равную нулю, тогда общее решение данного уравнения определяет функцию $\xi_n(t)$ в виде интеграла:

$$\xi_n(t) = \pm \frac{1}{\sqrt{\rho}} \int \sqrt{g_e(x, t)} dt \quad (13).$$

Аналогичным интегрированием уравнения (12), но по координате при граничных условиях: $x=0$; $\xi_n(x)=0$; $C=0$ получено второе слагаемое решения уравнения (9):

$$\xi_n(x) = \pm \sqrt{\beta_{ao}} \int \sqrt{g_e(x, t)} dx, \quad (14)$$

подставляя (13) и (14) в (9) получим частное решение неоднородного дифференциального уравнения в виде суммы модулей общих интегралов:

$$\xi_n(t) = \pm \frac{1}{\sqrt{\rho}} \int \sqrt{g_e(x, t)} dt \pm \sqrt{\beta_{ao}} \int \sqrt{g_e(x, t)} dx \quad (15).$$

Объединением выражения (8) и последнего соотношения нашли общее решение неоднородного дифференциального уравнения (2):

$$\xi(x, t) = |(\cos ct \pm \sin ict) \cdot \exp(\pm ix)| \pm \frac{1}{\sqrt{\rho}} \int \sqrt{g_e(x, t)} dt \pm \sqrt{\beta_{ao}} \int \sqrt{g_e(x, t)} dx \quad (16).$$

Это выражение является общим решением неоднородного дифференциального уравнения движения расплава во внешнем акустическом поле. Оно представляет собой траекторию движения частицы расплава во времени пространстве.

Решение (16) является универсальным, т.к. распространяется на скалярное и векторное внешние поля, в которых перемещается частица расплава и для них определено выражение (1) энергетического баланса. Значит, данный метод по индукции можно распространить и на другие процессы, для которых возможно составить уравнение баланса энергий.

Важно отметить, что данный метод применим для исследования открытых систем, которым требуется внешняя энергия для устойчивого протекания процессов внутри системы. Определив составляющие полной энергии системы и ее потребности во внешней энергии, можно составить уравнение энергетического баланса, на основе которого становится возможным определить траекторию и другие кинематические характеристики движения частицы системы, помещенной во внешнее поле.

Таким образом, становится возможным на основе синтеза идей теоретической механики и термодинамики необратимых процессов разработать общий метод описания движения частиц широко спектра открытых систем, помещенных во внешнее поле.

Линейность уравнений математической модели, построенной на основе этого метода энергетического баланса, расширяет возможности поиска фундаментальных решений в аналитической форме, что позволяет проводить углубленный анализ кинематики открытых систем, подвергающихся различным ВнВ.

Открывается новая возможность анализа различных ВнВ на данную систему и нахождения, как оптимальных режимов этих воздействий, так и сравнение эффективности существующих методов физического воздействия на открытые системы различных классов.

Рассмотрим теперь, как, применив метод дедукции, можно проследить принцип преемственности научных знаний, анализируя частные решения полученной математической модели, траектории движения частиц открытой системы во внешнем скалярном поле.

Это случай стационарного внешнего поля, когда его характеристики зависят только от координаты.

Далее проанализируем еще более частный случай внешнего поля с постоянными характеристиками, как во времени, так и в пространстве.

Исследование движения расплава в стационарном внешнем поле.

Рассмотрим один из частных случаев движения частицы расплава во внешнем поле, которое не зависит от времени, а только от координаты. Это поле обычно называют скалярным [12,18].

Тогда уравнение (1) энергетического баланса можно записать в виде:

$$\varepsilon(\dot{q}) + \varepsilon(q) = g_e(q), \quad (17)$$

где $g_e(q)$ – удельная энергия, необходимая системе для протекания процессов внутри нее, отличающаяся от аналогичной величины в соотношении (1) тем, что является функцией только обобщенной координаты (q), т.е. скаляром.

В результате получили уравнение движения среды расплава во внешнем скалярном поле, в частности, акустическом.

Если записать данное уравнение в развернутой форме квадратичных слагаемых кинетической и потенциальной энергий, то получим выражение аналогичное соотношению (2):

$$\frac{1}{2} \rho \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\beta_{ao}} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 = g_e(x), \quad (18)$$

Это дифференциальное линейное неоднородное уравнение в частных производных, которое формализует движение во внешнем скалярном поле вибраций.

Общее решение данного уравнения находят аналогично как для выражения (2) приведенного выше. Отличие имеется в поиске частного решения данного неоднородного уравнения и его виде, т.к. правая часть (18) является функцией только координаты.

Учитывая сказанное выше общее решение (16) будет несколько упрощаться, с учетом скорости звука в расплаве ($c = \sqrt{1/(\rho \cdot \beta_{ao})}$) и приводиться к виду:

$$\xi^c(x, t) = |(\cos ct \pm \sin ict) \cdot \exp(\pm x)| + \sqrt{\beta_{ao}} (\pm c \sqrt{g_e(x)} \cdot t \pm \int \sqrt{g_e(x)} dx), \quad (19)$$

где $\xi^c(x, t)$ – траектория движения среды (расплава) в скалярном поле вибраций.

Сравнение последнего выражения с общим решением уравнения движения расплава в векторном поле (16) показывает их явную преемственность, что характеризует

достоверность полученных знаний на основе рассматриваемого метода энергетического баланса.

Необходимо отметить, что общее решение однородного уравнения, которое для обоих рассмотренных случаев, одинаково действительно остается неизменным. Согласно теории колебаний [1,11] это свободные колебания частицы (системы), в частности, расплава, помещенного во внешнее акустическое поле, которое производит источник колебаний, опосредованно (через поле) воздействующий на среду системы (в данном случае – кристаллизующийся расплав металла).

Одно из таких решений имеет вид:

$$\xi_o(x,t) = (\pm \exp(-x)) \cdot (\cos ct \pm \sin ict) \quad (20)$$

и представляет суперпозицию затухающего аperiодического движения в пространстве (первый множитель в решении (20)) и свободных колебаний во времени (второй множитель – соответственно). Эта траектория, напоминающая затухающие колебания в реальной системе, в которой действуют диссипативные силы, обуславливающие рассеивание энергии колебаний [14], в данном случае в пространстве.

Полученное решение (20) характерно для наличия в системе, поля вибраций, или колебаний диссипативных сил, отнесенных к координате. Такие силы всегда имеют место в реальных механических системах, какой является, например, источник, или устройство, создающее вибрационное поле [13,20].

Второе решение однородного уравнения аналогично выражению (20), но перед аргументом экспоненты стоит знак плюс.

Возможно это известные автоколебания, возникающие в системах при наличии не только диссипации энергии, но и такого изменения параметров системы, которое приводит к самовозбуждению колебаний, или приближению явления резонанса в системе [6,14].

Гипотетически, такой вид движения возможен, если предположить, что поле, или вибратор получают в свою очередь энергию извне на производство механических колебаний, которая превосходит диссипацию механической энергии внутри системы, поля, или источника колебаний [4,10] .

Такое движение может иметь место при приближении системы, поля и вибратора к резонансу с источником энергии для него (мотором) или с его отдельными узлами. Предрезонансное движение системы приводит к увеличению амплитуды колебаний поля и вибратора во времени и пространстве, которое чревато нарушением работоспособности источника колебаний или его двигателя. Значит желательно провести поиск возможностей, недопущения таких режимов работы вибратора. Эта гипотеза согласуется с данными [4,14].

Проведен сравнительный анализ частных решений неоднородных дифференциальных уравнений траектории частиц расплава, в векторном и скалярном поле вибраций. Это выражение (15) и второе слагаемое соотношения (19) для скалярного поля.

Частные решения являются зависимыми от физико - химических свойств системы (расплава): плотности, скорости звука, адиабатической сжимаемости вида функции энергии, необходимой расплаву для устойчивого протекания в процессе (кристаллизации).

Причем можно получить вид этого решения для обеих полей, пропорциональный квадратному радикалу из адиабатической сжимаемости расплава и обратно пропорциональный такому же радикалу от плотности расплава.

Для траектории расплава в скалярном поле, согласно выражению (19) зависимость от времени линейная, а для векторного поля определяется видом функции $g_a(x,t)$ - энергии системы.

Рассматривая смещения частиц со знаком плюс, перед радикалом, и интегралом, следует заметить, что при этом изменяются проанализированные выше общие решения однородных дифференциальных уравнений, т.е. увеличиваются амплитуды растягивающих смещений. Знак минус, должен увеличивать сжимающие смещения суммарной траектории движения.

Например, если решение однородного уравнения имеет вид выражения (20) и характеризует затухающие колебания внешней среды (акустического поля), передаваемые кристаллизующемуся металлу, то, поглощая внешнюю энергию, расплав также начинает колебаться, но за счет вязкости и теплопроводности механическая энергия колебаний рассеивается в объеме расплава, и колебания в нем затухают.

Воздействуя на расплав растягивающими нагрузками, можно получить кавитацию расплава и, как следствие, нарушения сплошности расплава и далее диспергирующий и рафинирующий эффекты в кристаллизующемся металле, обычно улучшающие его структуру [7,8,22].

Влияние сжимающих воздействий на расплав, может привести к его разогреву, также рафинирующему эффекту, за счет коагуляции включений из мелких в крупные. Возможно, увеличение плотности кристаллизующегося металла, как результат улучшения питания и капиллярного эффекта в затвердевающей отливке [8,9,21].

Таким образом, комбинируя составляющие общего решения неоднородного дифференциального уравнения для различных полей, можно подобрать режим колебаний среды и работы вибратора, дающий значительный положительный эффект воздействия через среду, передающую колебания, на процесс кристаллизации расплава.

Значит, разработанная методика энергетического баланса открывает возможности анализа не только движения частицы в поле, передающем энергию, но и самого поля, как внешней среды по отношению к системе (расплаву), т.е. в терминах теоретической механики, взаимодействия передающего звена и нагрузки.

Применительно к воздействию акустического поля на кристаллизующийся расплав – это взаимодействие колебательной системы (волновода) и расплавленного металла.

Таким образом, если к рассмотренному уравнению энергетического баланса добавить уравнения, характеризующие источник поля, взаимодействующий со средой, передающей его параметры движения системе, то получим общую систему уравнений, описывающую движение в системе: источник поля - среда, передающая параметры поля - частица, на которую воздействует поле.

В терминах теоретической механики это системное взаимодействие: двигатель – передающее звено – нагрузка, а в рассматриваемом частном случае: вибратор – волновод – кристаллизующийся расплав.

Таким образом, предложена гипотеза нового фундаментального метода анализа ВнВ на процессы в открытых системах на основе анализа идей теоретической механики, механики сплошных сред и термодинамики необратимых процессов.

Предлагаемый метод может быть успешно применен для согласования параметров движения в системе: двигатель - передающее звено - нагрузка.

Кроме того, рассматриваемый метод может быть использован, как основа при проектировании передающего звена или двигателя, а также всей системы как единой машины. При этом удельную энергию, необходимую нагрузке для устойчивого процесса в ней необходимо рассматривать как реакцию на ВнВ или возмущающую силу в уравнениях движения двигателя и передающего звена.

Описание движения расплава под влиянием ВнВ постоянной величины.

Рассмотрим второй частный случай движения частицы под влиянием окружающей среды с постоянным во времени и пространстве воздействием.

Тогда уравнение энергетического баланса такой системы еще более упростится:

$$\varepsilon(\dot{q}) + \varepsilon(q) = g_e, \quad (21)$$

где $g_e = \text{const}$ – энергия, необходимая системе для устойчивого протекания в ней процесса, независящая ни от времени, ни от координаты

Это математическая модель движения частицы под влиянием постоянной возмущающей – это движение энергией g_e .

Общее решение математической модели (21) искали как частный случай фундаментального решения (16) общего уравнения движения расплава в векторном поле (2) с учетом постоянства функции $g_e(x, t)$. После преобразований получим в виде:

$$\xi^n = |(\cos ct \pm \sin ict) \cdot \exp(\pm x)| \pm \sqrt{g_e \cdot \beta_{ao}}(x + ct), \quad (22)$$

где ξ^n - траектория движения частицы под влиянием возмущений постоянной величины.

Это решение (22) является упрощенной аналитической формой общего интеграла (16). Оно также состоит из суперпозиции решений, с учетом знаков в скобке, между ними, и раскрытия модулей.

Траектория свободных колебаний системы совпадает с аналитическим движением расплава в векторном и скалярном полях.

Однако, частное решение неоднородного уравнения ξ_n^n предельно упрощается до равенства:

$$\xi_n^n = \pm \sqrt{g_e \cdot \beta_{ao}}(x + ct),$$

включающего два решения одинаковых по модулю, содержащих сумму функций пространства и времени широко известных, как общий аргумент $(x + ct)$ любых функций решения волнового уравнения, что подчеркивает достоверность и общность данного решения.

Зависимости этой составляющей траектории частицы от перемещения во времени и пространстве линейные, причем угловые коэффициенты составляющих перемещения прямых отличаются друг от друга.

Угловой коэффициент перемещения в пространстве составляет величину – безразмерную, зависящую от физико - химических свойств системы.

Аналогичная величина для перемещений во времени содержит, кроме указанного радикала еще и множитель – скорость звука в расплаве и составляет «с» – переменную с размерностью скорости.

Из аналитической геометрии известно, что первая величина: скорость перемещения в пространстве, а вторая – во времени. Сравнение этих скоростей показывает, что быстрее идет перемещение во времени, чем в пространстве.

Постепенное упрощение решения уравнений движения при переходе от перемещения частиц расплава в векторном поле к скалярному и далее возмущению независящему ни от времени, ни от координаты позволяет получить более широкую информацию о характеристиках слагаемых в уравнениях траекторий движения частиц расплава.

Особенно необходимо отметить, возможность графических построений схем траекторий движения частиц, при воздействии постоянного возмущения.

Одно из таких схем, иллюстрирующая возможную траекторию частиц расплава, при его кристаллизации в поле с линейным во времени воздействием, показана на рисунке. Траектория вынужденных колебаний частиц получена графическим сложением траектории собственных колебаний и функции влияния ВнВ (возмущения).

Рассмотрение графика позволяет сделать вывод, о возможности увеличения амплитуды растяжения при колебаниях частиц расплава, с сохранением частоты и изменении формы колебаний, которые уже при небольшом времени воздействия затухают, уступая место линейному воздействию.

Таким образом, ВнВ на кристаллизующийся расплав приводит к поглощению механической энергии колебаний за счет вязкости и теплопроводности, постепенному их затуханию.

Частица расплава под влиянием постоянного воздействия сначала колеблется с частотой собственных колебаний, которые, затухая, уступают место равномерному движению, под влиянием энергетики процесса кристаллизации.

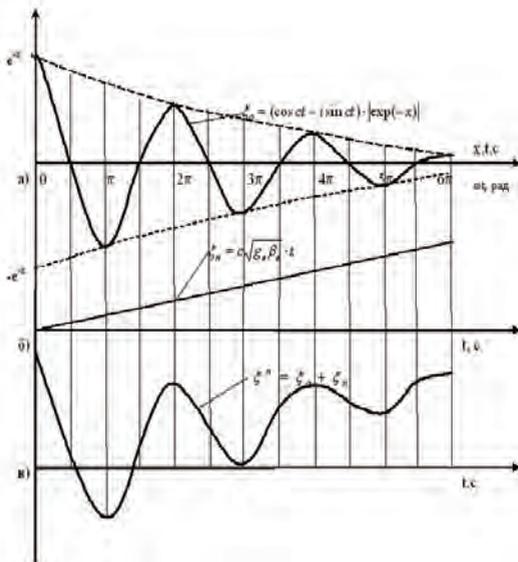


Рисунок. Схема одной из возможных траекторий частиц расплава при внешнем воздействии

- а) собственные колебания; б) функция влияния внешнего воздействия; в) суммарная траектория движения частицы

Задавая различные начальные и граничные условия можно управлять траекториями движения частиц кристаллизующегося расплава под влиянием ВнВ.

Таким образом, появляется возможность интенсификации ВнВ на процесс кристаллизации, управления этим процессом и получения литого металла высокого качества.

Предложено общее аналитическое выражение, характеризующее баланс между энергиями ВнВ на систему и дефицитом энергии внутри системы для устойчивого протекания в ней некоторого процесса. Отмечено использование в указанном выражении преобразования функции Лагранжа для получения энергетических соотношений.

На основе формализованного выражения баланса энергии разработана математическая модель движения расплава, кристаллизующегося во внешнем акустическом поле, с произвольными параметрами.

Получено фундаментальное решение общего уравнения движения частиц расплава во внешнем векторном поле вибраций, содержащее функцию в форме Даламбера известного аргумента ($x + ct$) решения волнового уравнения, характеризующее траекторию движения частицы под влиянием внешнего поля в пространстве и времени.

Анализ общего решения, полученного методом теории математической физики, показал, что траектория движения частиц расплава в векторном поле вибраций является суперпозицией частных траекторий собственных колебаний частиц и функций влияния на ее движение дефицита свободной энергии Гиббса расплава металла, как реакции системы на ВнВ.

Методом дедукции прослежен принцип преемственности научных знаний путем анализа соответствия частных решений общим и широко известным в литературе, что усиливает достоверность полученной информации.

Получена математическая модель движения частиц расплава в скалярном поле вибраций как частный случай общей модели с соблюдением принципа преемственности научных знаний.

Отмечена инвариантность общего решения однородного уравнения, представляющего собственные колебания расплава, от ВнВ на расплав. Разновидности этого решения, затухающие или аperiodические незатухающие колебания, аналогичны известным в литературе, что подтверждает правильность авторских решений.

Получены универсальные зависимости частных решений неоднородных уравнений движения частиц расплава, от его физико - химических свойств: плотности, скорости звука, адиабатической сжимаемости и вида функции свободной энергии Гиббса для устойчивого протекания в расплаве процесса кристаллизации, что позволяет использовать формализм этих решений для исследования влияния различных ВнВ на расплав любого кристаллизующегося металла.

Проведенная интерпретация влияния различных частных решений неоднородных уравнений движения частицы, на общее, которая показала возможность уменьшить затухания колебаний частиц расплава во внешнем акустическом поле и, таким образом, снизить диссипацию энергии ВнВ на кристаллизующийся расплав. В результате можно прогнозировать увеличение эффективности влияния вибрации на структуру и свойства литого металла.

Получено общее решение неоднородного уравнения движения частиц расплава под влиянием ВнВ постоянной величины, как частный случай фундаментального решения движения частиц расплава в векторном поле вибраций с произвольными параметрами, в полном соответствии с принципом преемственности частных знаний общим.

Проведенный анализ влияния постоянного ВнВ на свободные колебания расплава показал линейность функций реакции системы на воздействие. Сравнение скоростей пространственного и временного влияния постоянного возмущения позволяет констатировать, что быстрее происходит влияние на перемещение во времени, чем в пространстве.

Анализ всего формализма разработанной математической модели позволяет по индукции распространить метод энергетического баланса на многие открытые системы, которым требуется энергия извне для устойчивого протекания процессов внутри системы и, таким образом, проводить углубленный анализ кинематики открытых систем, подвергающихся различным внешним физическим воздействиям.

Сформирован принцип построения метода энергетического баланса как синтез идей теоретической механики по исследованию различных механических систем; термодинамики необратимых процессов для излучения энергетики открытых систем и механики сплошных сред как метода познания механизма передачи энергии и массы в различных телах, помещенных во внешние поля.

Отмечена возможность содержательного анализа методом энергетического баланса не только движения расплава, помещенного во внешнее поле, но и самого поля, как внешней среды по отношению к расплаву (системе). В результате, возможно, исследовать взаимодействие поля и частиц расплава, на которые воздействует среда поля.

Предложена гипотеза построения фундаментального метода анализа ВнВ на открытые системы. Он может быть формализован системой уравнений, описывающей устойчивую работу в обобщенной системе. Эта система содержит: источник поля – среда, передающая параметры поля – расплав (тело), на который воздействует поле. К системе следует добавить условия согласования частей обобщенной системы.

Отмечена принципиальная возможность применения сформулированной выше концепции метода для проектирования согласованной системы машин: вибратор – волновод – кристаллизующийся расплав в обобщенной системе: двигатель – передача – нагрузка, а также условий согласования движения узлов системы друг с другом. При этом удельную энергию, необходимую нагрузке для осуществления устойчивого произвольного технологического процесса, следует рассматривать как реакцию нагрузки на ВнВ, или возмущающую силу в уравнениях движения двигателя и передающего звена.

Работа является вкладом в теорию ВнВ на процессы в жидких и затвердевающих средах. Материалы статьи могут быть использованы специалистами металлургами, химиками, литейщиками, занимающимися теорией и практикой внедрения передовых технологий ВнВ в заготовительном и других производствах.

Список использованной литературы:

1. Андронов А.А. Теория колебаний - 2 - е издание перераб. и доп. / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.З. Хайкин - Москва: Наука, 1981. – 568 с.

2. Разработка новой теории внешних воздействий на процессы в конденсированных средах / Ю.А. Балакин [и др.] // Вестник МГОУ: серия физико - математические науки, 2014 – №4 – С.119 - 123.
3. Балакин Ю.А. Теоретические основы внешних воздействий на процесс кристаллизации металлов / Ю.А.Балакин – М.: Изд - во «Буки Веди», 2014. – 148 с.
4. Балакин Ю.А. Технологические возможности вибрационных устройств для обработки сталей / Ю.А.Балакин, М.И.Гладков, И.Ф.Гончаревич // Черметинформ. Труды II Конгресса сталеплавильщиков, Липецк, 1994. С. 34 - 37.
5. Балакин Ю.А., Гладков М.И., Чалый Р.М. Оценка режимов виброобработки металлов методом энергетического баланса // Прогрессивные литейные технологии: Тезисы докладов международ. науч. практ. конф. – М., МГСиС, 2000. – С. 157 - 158.
6. Балакин Ю.А. Термодинамический анализ процессов релаксации и диссипации энергии внешнего воздействия в кристаллизующемся металле / Ю.А.Балакин, М.И.Гладков // Электрометаллургия. –2012. – № 1. – С. 18 - 23.
7. Разработка термодинамической модели диспергирования структуры при внешнем воздействии на затвердевающий металл / Балакин Ю.А., Будник А.А., Соколов И.В. // В сборнике: ТРАДИЦИОННАЯ И ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ. Сборник статей Международной научно - практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. Уфа, 2015. С. 11 - 14.
8. Балакин Ю.А. Обработка расплавов алюминия и силумина колебаниями УЗ - кового и звукового диапазонов / Ю.А.Балакин, А.С.Аверин, М.И.Гладков // Metallurgy, Тематич. сборник научных трудов «Применение физико - химических методов в технологических исследованиях», Москва, 1990. С. 45 - 49.
9. Балакин Ю.А. Разработка теоретических основ инновационной технологии рафинирования расплавов металлов / Ю.А. Балакин, И.В.Завалишин, А.А. Будник // Качество. Инновации. Образование. – 2015. – № 6 (121). – С. 30 - 36.
10. Гончаревич И.Ф. Динамика горных машин с упругими связями / И.Ф. Гончаревич, А.В. Докукин. - Москва: Наука, 1975. – 212 с.
11. Гробов В.А. Теория колебаний механических систем / В.А.Гробов – Киев: Высшая школа, 1982. – 183 с.
12. Зельдович Я.Б. Элементы прикладной математики / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис – Москва: Наука, 1965. – 615 с.
13. Лепендин Л.Ф. Акустика: Учебное пособие для вузов / Л.Ф.Лепендин – Москва: Высшая школа, 1978. – 448 с.
14. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г.Пановко Москва: Физматгиз, 1971. – 239 с.
15. Balakin Yu.A. EFFECT OF EXTERNAL FACTORS ON THE MAIN PARAMETERS OF METAL SOLIDIFICATION // Russian metallurgy (Metally). 2002. T. 2002. 1 6. P. 548 - 552.
16. Balakin Yu.A., Gladkov M.I. THE EFFECT OF AN EXTERNAL INFLUENCE ON METAL SOLIDIFICATION KINETICS // Russian metallurgy (Metally). 2007. Vol. 2007. 1 7. P. 638 - 642.

17. Balakin Yu.A., Gladkov M.I. THERMODYNAMIC ANALYSIS OF HIGH - TEMPERATURE TREATMENT OF METALLIC MELTS: PART I // Russian metallurgy (Metally). 2008. Vol. 2008. ¹ 7. P. 611 - 615.

18. Balakin Yu.A., Gladkov M.I. THERMODYNAMIC ANALYSIS OF HIGH - TEMPERATURE TREATMENT OF METALLIC MELTS: PART II // Russian metallurgy (Metally). 2008. Vol. 2008. № 8. P. 730 - 733.

19. Balakin Y.A., Gladkov M.I. NONEQUILIBRIUM THERMODYNAMICS STUDY OF THE SOLIDIFICATION OF A CASTING UNDER AN EXTERNAL ACTION ON THE SOLIDIFYING METAL: PART I // Russian metallurgy (Metally). 2009. Vol. 2009. ¹ 8. P. 728 - 732.

20. Balakin Y.A., Gladkov M.I. THERMODYNAMIC ANALYSIS OF AN EXTERNAL ACTION ON THE KINETICS OF BULK SOLIDIFICATION OF METALS // Russian metallurgy (Metally). 2010. Vol. 2010. ¹ 6. P. 568 - 571.

21. Balakin Y.A., Gladkov M.I., Maslennikova E.A. EFFECT OF AN EXTERNAL ACTION ON THE TEMPERATURE OF A SOLID - PHASE PARTICLE IN A SOLIDIFYING METAL: PART I // Russian metallurgy (Metally). 2011. Vol. 2011. ¹ 6. P. 531 - 535.

22. Balakin Y.A., Gladkov M.I. NUCLEATION KINETICS OF A SOLIDIFYING METAL UNDER AN EXTERNAL ACTION // Russian metallurgy (Metally). 2015, Vol. 2015, No 6, S. 433 - 437.

© Ю.А.Балакин, А.А.Будник, И.В.Соколов, 2016

УДК 62

Н.А. Грибова

К.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова

г. Москва

РАЗВИТИЕ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПЛОДОВО - ЯГОДНОЙ ПРОДУКЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация

Первостепенной задачей на сегодняшний день является поднятие до мирового уровня перерабатывающие промышленности плодово - ягодной продукции. На современном этапе развития рыночных отношений отечественные перерабатывающие предприятия плодово - ягодной продукции не могут обеспечить решение сложных задач в полной мере ввиду действия различных факторов и существующих барьеров, ограничивающих производственно - экономический потенциал предприятий перерабатывающих отраслей. Для решения глобальной проблемы развития страны Путиным В.В. запущены программы импортозамещения, что приведет к технологическому обновлению производств, стимулированию экспорта, фонда развития промышленности и Российского экспортного центра.

Ключевые слова

Фруктово - ягодная продукция, сырье, импортозамещение, перерабатывающая пищевая промышленность, конкурентоспособность.

На сегодняшний день актуальной проблемой, влияющей на развитие экономики нашей страны, является санкции, введенные странами США и ЕС. В качестве ответной меры 7 августа 2014 г. правительством России введен полный запрет на поставки в страну говядины, свинины, мяса птицы, рыбы, сыров, молока и плодоовощной продукции из Австралии, Канады, ЕС, США и Норвегии. Кроме того, Россельхознадзор с 18 июля 2014 г. ввел запрет ввоза на территорию России молдавского, украинского и румынского мяса, фруктов и овощных консервов ввиду несоблюдения производителями норм безопасности. С 1 августа запрещен ввоз в Россию практически всех видов овощей и фруктов из Польши, которая являлась их основным импортером, по причине нарушения польской стороной требований к сертификации, а также выявлением в продукции карантинных объектов. 24.12.2015 г. на заседании правительства затронута проблема развития промышленности. Путин В.В. заявил, что запущены программы импортозамещения и это должно вести к технологическому обновлению производств, стимулированию экспорта, активно задействованы и механизмы проектного финансирования, Фонда развития промышленности, Российского экспортного центра.

В связи с вступлением России в Всемирную торговую организацию поднятие пищевой промышленности до мирового уровня на сегодняшний день является первостепенной задачей. На современном этапе развития рыночных отношений отечественная пищевая промышленность не может обеспечить решение сложных задач в полной мере ввиду действия различных факторов и существующих барьеров, ограничивающих производственно - экономический потенциал предприятий перерабатывающих отраслей.

Перед Россией встал вопрос – кем заменить импортеров фруктов и овощей? По данным Росстата, в 2012 году доля импорта продовольственных товаров в товарных ресурсах розничной торговли продовольственными товарами в России составляла 34 %. Заменить импорт данной продукции возможно только за счет увеличения поставок из Китая, Сербии, Турции, Египта, Азербайджана, Южной Америки. Однако цены поставляемой импортной продукции в не сезонное время вырастают почти на треть. Таким образом, главной задачей в России становится увеличение доли отечественной продукции на российском рынке, развитие перерабатывающей промышленности плодово - ягодной продукции и удовлетворение внутреннего спроса высококачественной продукцией собственного производства.

В настоящее время российские мощности по переработке плодово - ягодной продукции из отечественного сырья не в состоянии обеспечить потребности российских производителей, во многом потому, что большая часть предлагаемой потребителю продукции импортируется. Ведущими поставщиками плодово - ягодной продукции на российский рынок являлись страны ближнего и дальнего зарубежья – это Польша, Молдавия, Белоруссия, Испания, Румыния, Украина, Узбекистан, Грузия, Китай, Турция.

Причиной большого объема ввоза импортной продукции во многом связано с неудовлетворительным состоянием российских плодовых хранилищ. По данным Минсельхоза РФ ежегодно сгнивает около 55 % закладываемой на хранение плодово -

ягодного сырья. И стратегия импортозамещения должна включать в себя развитие складского хозяйства и повышение его технологического уровня.

Исследования показывают, что наибольшую долю импортной плодово - ягодной продукции и сырья на Российском рынке около 90 % составляют садовая земляника. До 2011 года лидером поставок была Турция, а с 2011 г. – Греция, которая за период с 2009 г. по 2013 г. увеличила поставки в Россию почти в четыре раза [15].

По итогам 2013 года Греция обеспечила 38 % Российского импорта садовой земляники, Турция – 27 % , Польша и Испания – по 11 % , причём Испания также увеличила поставки в три раза [15]. На сегодняшний день из - за сложившейся сложной ситуацией в России, поставляемая импортная продукция в основном из Турции проходит жесткий контроль на наличие в ней вредных веществ, которые добавляется при выращивании, для увеличения в объемах и сроках хранения плодово - ягодной продукции и сырья. На безопасность поставляемой продукцией необходимо было обратить внимание еще в более раннем периоде, когда недоброкачественная продукция только начала поступать, а сейчас рынки просто перенасыщены недоброкачественной, опасной продукцией. Необходимо незамедлительно и вплотную заняться увеличением качественного посадочного материала, выращиванием его, переработкой и расширением товарного ассортимента для обеспечения высокой степени отечественной безопасной, качественной плодово - ягодной продукцией как свежей, так и переработанной.

Пищевая промышленность является системообразующей сферой экономики страны, обеспечивающей продовольственную и экономическую безопасность.

Для решения проблем продовольственной безопасности Крылатых Э.Н. предлагает, ускоренными темпами развивать высокодоходные отрасли сельского хозяйства и агропромышленный комплекс в целом. Он считает, что это позволит повысить уровень доходности производителей и в целом населения, а рост доходов спровоцирует рост объема производства продукции и в последствии приведет к стабилизации рынка и устойчивости цен [12].

Борисова О.В. и Хропатая И.Ю. предлагают применить данную стратегию в Сибирском федеральном округе, такое решение возникло достаточно давно, что доказано в трудах сотрудников ГНУ СибНИИЭСХ на протяжении последних уже пятнадцати лет [3].

По мнению Глотко А.В. имеющийся потенциал по развитию садоводства в Алтайском крае, который относится к промышленно - аграрному региону, обладающему равными возможностями промышленного и сельскохозяйственного производства, характеризуется интенсивностью межрегиональных связей по вывозу сельскохозяйственной продукции и продовольствия [4]. Ягодничество представляет одну из растениеводческих отраслей сельского хозяйства. Плоды, ягоды и виноград широко используются в свежем, сушеном, замороженном и переработанном виде, например, варенье, джемы, компоты, повидло, пастила, маринады, соки и вино. В России произрастает всего до 25 плодово - ягодных пород, имеющих различное хозяйственное значение.

Производство плодов и ягод в Российской Федерации колеблется от 2384,6 тыс. тонн в 1990 г. до 2941,5 тыс. тонн в 2013 г., следовательно, рост объемов производства составлял 123,3 % по отношению к 1990 г. [15,20].

Авторы, еще ранее изучая проблему в стране в своих исследованиях предлагают выращивание ягод в Алтайском крае, из - за лучших природно - климатических условий,

несмотря на то, что и занимает скромное 42 место среди регионов России. Среднегодовое производство плодов и ягод в Алтайском крае составляет 18,2 тыс. тонн плодов и ягод, или 7,0 кг на душу населения [20]. Указанные объемы производства значительно ниже от необходимой медицинской нормы потребления данной продукции и составляют 71 кг в год на человека.

Для сравнения можно привести уровень потребления плодов и ягод в странах Западной Европы и Северной Америки, который составляет в среднем 100–120 кг на человека. И даже при таком уровне не удовлетворенного спроса у производителей нередко возникает проблема с эффективной продажей свежей плодово - ягодной продукции, а именно более 60 % плодов и ягод продается в свежем виде [11].

Производителям, ведущим деятельность в отрасли промышленного садоводства, оказываются разнообразные меры государственной поддержки, а именно возмещение части затрат на закладку и уход за многолетними плодовыми и ягодными насаждениями, а также на раскорчевку выбывших из эксплуатации старых садов и рекультивацию раскорчеванных площадей. Так почему на отечественных рынках потребителям предлагается импортная свежая плодово - ягодная продукция низкого качества, а еще и не безопасная?

В 2015 году в России условием для получения субсидии по данному направлению является закладка сада на площади не менее 1 га, при этом ранее требовалось не менее 3 га. Это поможет обеспечить по сравнению с 2014 годом увеличение ставок субсидий на закладку традиционных садов с 21 тыс. рублей на 1 га до 48,3 тыс. рублей это практически в 2,3 раза, плодовых питомников – с 21 тыс. рублей на 1 га до 131, 1 тыс. рублей в 6,2 раза, интенсивных садов – с 68 тыс. рублей на 1 га до 210 тыс. рублей в 3,1 раза. С 2015 года вводится дополнительная форма господдержки – это возмещение до 20 процентов прямых понесенных затрат на строительство плодохранилищ [15]. Перспектива развития на будущее очень хорошая, но должно пройти определенное время для того, чтоб мы получили на рынках качественную, безопасную свежую и переработанную плодово - ягодную продукцию.

С целью укрепления отечественного рынка в условиях санкций правительством России принято решение увеличить финансирование программы развития отечественного сельского хозяйства. Однако многие вопросы, требующие решения, пока не имеют необходимого научного осмысления.

Основной целью является совершенствование методологической базы принятия решений по снижению зависимости от импорта сырья и продовольствия за счет обеспечения гарантированного и устойчивого снабжения населения страны безопасным и качественным сырьем и продовольствием отечественного производства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть и проанализировать теоретические основы организации деятельности перерабатывающей промышленности плодово - ягодной продукции;
- проанализировать современное состояние и перспективы развития конкурентоспособности перерабатывающей промышленности и решение проблемы продовольственной безопасности;
- обосновать методологию прогнозирования направлений развития российского рынка перерабатывающей промышленности плодово - ягодной продукции;

- исследовать и оценить уровень самообеспечения Российской Федерации отечественной плодово - ягодной продукции;
- определить возможность производства, потребления и расширения плодово - ягодной продукции в Российской Федерации;
- обосновать направления повышения уровня конкурентоспособности на российском рынке импортозамещающей плодово - ягодной продукции;
- обосновать методологические подходы к оценке эффективности импортозамещения для перерабатывающей промышленности плодово - ягодной продукции;
- разработать предложения по совершенствованию системы управления эффективности деятельности предприятия на стадиях производства и реализации плодово - ягодной продукции;
- оценить экономическую эффективность инвестиций в организацию производства плодово - ягодной продукции.

При решении проблемы импортозамещения необходим комплексный подход с учетом всех факторов и особенностей страны. В техническом плане расширить производство по переработке плодово - ягодного сырья особой сложности не составляет. Проблема возникает не столько в поставке высококачественного сырья, т.е. в объемах выращивания, сколько в сохранности этого сырья в процессе переработки.

Из чего следует, что плодово - ягодное свежее или замороженное сырье заменить практически не чем – это связано с тем, что выращивание ягод и плодов в России в промышленных масштабах еще на стадии развития, при этом, несмотря на то, что некоторые страны и не попали в антисанкционный список, увеличение экспортных поставок в Россию и налаживание собственного производства сельхозпродукции требует длительного времени.

При этом нельзя забывать, что плодово - ягодную продукцию можно и нужно отнести к товару первой необходимости, ведь в ней содержится большое количество витаминов, которые так важны для поднятия иммунитета человека и особенно в определенный промежуток времени – зимне - весенний период. Одним из условий, побуждающих к производству плодово - ягодной продукции, является рост платежеспособного спроса населения. По данным Минсельхоза РФ, для обеспечения населения страны отечественной плодово - ягодной продукцией по рекомендуемой медицинской норме составляет 75 кг в год без учета винограда, поэтому необходимо производить 10,7–11 миллионов тонн плодово - ягодной продукции. По данным Росстата, валовой сбор плодово - ягодной продукции в РФ за 2013 год составил 2,93 млн. тонн или 110 % к уровню 2012 года. В страну было импортировано 7,1 млн. тонн продукции. За счет собственного производства плодов и ягод было обеспечено 27 % потребности страны. В 2014 г. всего было собрано 2,98 миллиона тонн ягод и фруктов [16], что составляет всего 2 % от потребности. Таким образом, целесообразно в каждом регионе рассмотреть возможность применения стратегии импортозамещения и развития собственного садоводства [10].

Таблица 1. Потребление плодово - ягодной продукции в разных странах

Страны Государств	Норма потребления (кг / чел. / год)
Российская Федерация	54
Венгрия	92

Германия	126
США	127
Франция	135
Италия	186

В таблице 1 представлены данные о норме потребления плодово - ягодной продукции в странах где развитая отрасль садоводства. Самое большое потребление плодов и ягод по сравнению с другими странами составляет в Италии – 186 кг на человека в год. В России фактическое потребление составляет всего лишь 54 кг, при этом доля импортной плодово - ягодной продукции в общем объеме потребления составляет около 80 %. В связи с этим, на первый план выходит проблема обеспечения населения качественной плодово - ягодной продукцией отечественного производства в течение всего календарного года по ценам, соответствующим платежеспособному спросу [10,16,21].

Если перевести в процентное соотношение потребление свежей плодово - ягодной продукции на душу населения в разных странах, то можно сделать вывод, что потребление в Российской Федерации составляет всего лишь 7 % по сравнению с другими государствами, а самое большое потребление в Италии 26 % (рисунок 1).



Рисунок 1. Фактическое потребление свежей плодово - ягодной продукции в Российской Федерации на 1 человека в год.

Потребление плодово - ягодной продукции в РФ в 2014 году составило 5,8 млн тонн, из них 2,8 млн тонн импортной продукции. Из стран ЕС плодово - ягодной продукции составило 960 тыс. тонн, из них 760 тыс. тонн яблоки. Всего на импорт плодово - ягодной продукции было затрачено в прошлом году около 78 млрд руб., на импорт яблок в том числе 14,5 млрд руб.

Всем известно, что плодово - ягодная продукция носит сезонный характер и в зимне - весенний период для потребителей становится малодоступной, поэтому большая часть населения старается потреблять свежую отечественную продукцию только в летне - осенний период. Свежая и переработанная плодово - ягодная продукция в несезонный период на российском рынке потребителям предлагается только импортируемая.

Российские производители, занимающиеся переработкой свежей продукции, а именно замораживанием, сублимационной сушкой, для того чтоб сохранить пищевую ценность и витаминный комплекс еще находится на стадии развития.

Сегодня спрос постоянно увеличивается, потребитель становится всё более взыскательным, он требует качественного товара, больше уделяя внимание внешнему виду, вкусовым качествам и упаковке.

Недостаток качественной плодово - ягодной продукции на внутреннем рынке восполняется поставками по импорту, объёмы которого ежегодно растут. Из - за неудовлетворительного хранения и плохой транспортировки происходит не только утрата природных достоинств свежей продукции, но и её прямое уничтожение. Потери составляют более 40 % среднегодового производства плодов и ягод. Всё это негативно сказывается на решении проблемы обеспечения населения полноценными продуктами питания и эффективности плодово - ягодного комплекса [5,8,24].

В настоящее время переработкой плодово - ягодной продукции занимаются около 57 консервных и 35 винных заводов, относящихся к системе Минсельхозпрода, и 21 плодоконсервное предприятие, находящееся в ведении Белкоопсоюза. Ежегодная потребность в плодово - ягодном сырье составляет в объеме 215 - 220 тыс. т. В зависимости от годового наличия заготовленных плодов и ягод сырьевых ресурсов заготавливается меньше нужного количества, что постоянно приводит к потенциальному недоиспользованию мощностей на 50 - 60 % . Потребность в необходимом количестве сырья можно восполнить за счет любительских и потребительских садов республики, что обеспечит ускоренное развитие промышленной переработки фруктов и прежде всего — в местах их производства, позволит расширить масштабы выпуска и ассортимент консервированной плодово - ягодной продукции [5,8,22].

Объем производства плодово - ягодной продукции определяется потребительским спросом, который, в свою очередь, формируется под воздействием предложения консервной продукции на рынке. Исходя из нормативов, среднее потребление продукции в свежем виде на душу населения должно составлять 80 % , а в переработанном виде — 20 % . В США этот показатель составляет 50 % , а в ряде европейских стран превышает 80 % . В том числе около 18 - 20 кг – это плоды отечественного производства и 35 кг – потребление за счет импорта плодов и ягод [8,9,21].

Россия обладает всем необходимым потенциалом для выращивания плодовых деревьев и садово - ягодных культур для обеспечения населения страны этой продукцией отечественного производства, а также выведения России в число мировых экспортеров.

Чтобы ликвидировать импортозависимость страны в плодово - ягодной продукции необходимо решить целый ряд проблем, существующих в отраслях садоводства и плододовства. Основным условием успешного развития отраслей является повышение рентабельности и конкурентоспособности промышленного садоводства на основе его интенсификации и внедрения новейших технологий производства и хранения плодов. Важнейшим аспектом успешного развития садоводства и снижения себестоимости готовой продукции является производство собственного чистосортного высококачественного посадочного материала путем развития плододопитомников и маточников, а также внедрение научно - обоснованной системы ведения питомниководства и подготовка квалифицированных специалистов.

В таблице 2 представлены данные по развитию садоводства в Российской Федерации за период с 2009 года по 2013 года. Из представленных данных видно, что площадь многолетних плодово - ягодных насаждений и площадь закладки садов интенсивного типа в 2013 году уменьшилась по отношению к предыдущему году, поэтому необходимо уделить особое внимание данным показателям.

Таблица 2. Развитие садоводства в Российской Федерации 2009 - 2013 гг.*

Показатели	2009	2010	2011	2012	2013
Валовый сбор плодово - ягодной продукции, тыс. тонн	2788,0	2148,9	2514,4	2883,8	2931,8
Средняя урожайность плодово - ягодных культур с плодоносящей площади, ц / га	62,5	40,2	64,6	69,0	77,1
Общая площадь многолетних плодово - ягодных насаждений, тыс. / га	528,8	518,5	514,8	507,4	499,3
Площадь закладки плодово - ягодных культур с плодоносящей площади, тыс. / га	7,9	4,8	9,5	11,2	9,3
Площадь закладки садов интенсивного типа, тыс. / га	1,5	0,8	3,1	5,5	4,6

* *Источник:* Российский статистический ежегодник. 2014. – М.: Росстат. – 2014.

Еще 9 августа 2014 года в ОАО «Росагролизинг» состоялось совещание по вопросам развития отечественного садоводства и питомниководства. По данной проблеме высказался Первый заместитель Председателя Правительства РФ Зубков. Он заявил, что нельзя забывать и о таком востребованном продовольственном направлении как садоводство, поэтому поддержка садоводства будет включена в новый раздел Госпрограммы развития сельского хозяйства на 2013 - 2020 годы.

Также была отмечена тяжелая ситуация, сложившаяся за последние 20 лет в отечественном садоводстве и питомниководстве. По данным Росстата с 1995 года была отмечена тенденция сокращения площадей многолетних насаждений на территории нашей страны. При этом наблюдается устойчивая тенденция роста объема потребления плодово - ягодной продукции, дефицит которой восполняется за счет импорта. Отсутствие современной системы питомниководства вызвано слабой материально - технической базой промышленных питомников, низкой координацией между участниками производства — от научных учреждений до промышленных питомников и садоводческих хозяйств. Среди других причин, влияющих на отставание отрасли, можно назвать отсутствие должной системы страхования многолетних насаждений и недостаточное финансовое состояние садоводческих хозяйств.

В рамках совещания были освещены проблемы производителей плодово - ягодной продукции и посадочного материала, затрагивался вопрос о низком качестве и

значительном устаревании техники для садоводства, о внедрении современных инновационных технологий с учетом узкой отраслевой специализации. Подчеркивалась необходимость государственной поддержки производителей и субсидирование аграриев при покупке техники. Эффективной мерой роста отрасли может стать развитие агротехнопарков, а также таможенно - тарифное регулирование ввоза готовой продукции и средств механизации.

Актуальные проблемы развития садоводства и питомниководства, обусловленные особой значимостью импортозамещения плодово - ягодной продукции, обсуждались и в Министерстве сельского хозяйства РФ.

По результатам совещания было принято решение о внесении предложений в Госпрограмму развития сельского хозяйства на 2013 - 2020 годы в части развития отрасли косточко - семечковых культур, ведь на сегодняшний день Россия является крупнейшим мировым импортером яблок, на ее долю приходится почти 30 % мирового импорта.

Поддержать российских производителей собственной плодово - ягодной продукции путем открытия новых рынков сбыта могут современные логистические центры. ОАО «Росагролизинг» в рамках подписанных соглашений о сотрудничестве с администрациями Волгоградской области и Ставропольского края примет участие в создании таких центров, что позволит организовать постоянный сбыт свежей продукции и осуществлять регулярные поставки ягод и фруктов юга России в другие регионы.

В Ставропольском крае уделяется особое внимание производству плодово - ягодной продукции. В Российской Федерации только Ставропольский край осуществляет государственную поддержку развития ягодоводства в виде предоставления субсидий на возмещение части затрат, связанных с посадкой и уходными работами за ягодными культурами, выращиванием их посадочного материала, с учетом затрат, связанных с изготовлением проектно - сметной документации. На 2014 год были предусмотрены средства краевого бюджета в размере 1 900,0 тыс. рублей.

В Ставропольском крае площадь плодово - ягодных насаждений во всех категориях хозяйств составляет 11,0 тыс. га, в специализированных организациях площадь плодово - ягодных насаждений составляет 3,8 тыс. га, в том числе под земляникой занято около 126 га. В фермерских хозяйствах садоводство не получило развитие. В них находится менее 1 % плодово - ягодных насаждений.

В сельскохозяйственных организациях Ставропольского края в дальнейшем планируется увеличить производство плодово - ягодной продукции, саженцев плодовых культур, снизить ресурсозатраты в структуре издержек производства за счет внедрения современных интенсивных технологий в садоводстве и ягодоводстве, а также создать условия для интенсификации производства на основе применения систем мелиоративного орошения. Все это позволит значительно увеличить площади многолетних насаждений, повысить занятость и увеличить доходы населения, улучшить социальную обстановку в Ставропольском крае и обеспечить переход отрасли в разряд перспективных направлений растениеводства.

Кабардино - Балкария предложила свое решение проблемы по импортозамещению плодово - ягодной продукции. Пищевая и перерабатывающая промышленность является важным сегментом агропромышленного комплекса Кабардино - Балкарии, причем неразрывно связанным с растениеводством. За последние шесть лет в Кабардино -

Балкарии заложено около 7 тыс. га плодово - ягодных насаждений, в том числе 3 тыс. га садов интенсивного типа. Согласно госпрограмме развития сельского хозяйства в КБР ежегодно предусмотрена закладка не менее одной тыс. га многолетних насаждений. Рост площадей будет способствовать наращиванию валовых сборов. В текущем году предполагается собрать порядка 130 тыс. тонн плодово - ягодной продукции, в 2015 году – более 150 тыс. тонн, в 2016 году – свыше 200 тыс. тонн. При этом потребность населения республики в плодово - ягодной продукции составляет 85 - 90 тыс. тонн в год, это перекрывает их потребности за счет собственного производства.

В республике имеется собственная база для развития данного сегмента растениеводства: заложены питомники, качественная и безопасная тара европейского стандарта для хранения плодово - ягодной продукции, а также идет строительство современных плодово - ягодных хранилищ. Данное предложение поможет в разы снизить себестоимость продукции.

Развитие отрасли садоводства с целью увеличения производства плодово - ягодной продукции возможно в Белгородской области. По данным статистики, в области в 2013 году произведено 47 тыс. тонн плодов и ягод, что на 12 % больше, чем в 2012 году. В расчете на душу населения объём производства составил около 30,5 кг. В отличие от России в целом, где производство плодово - ягодной продукции сосредоточено в крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйствах, в Белгородской области основные производители витаминной продукции (53 %) – это сельхозорганизации.

По информации департамента АПК Белгородской области, в регионе, как и в стране, в 2013 году выросла урожайность плодовых и ягодных культур. Если в среднем за 2008 - 2012 годах урожайность составила 4,5 тонны с гектара, то в 2013 - ом, за счет вступления в период товарного плодоношения молодых садов интенсивного типа, заложенных в 2005 - 2010 годах, достигнет 6,6 т / га.

9 августа 2014 года внесены изменения в приказ о ведомственной целевой программе "Развитие садоводства и питомниководства в Саратовской области на 2013 - 2015 годы" в целях создания технологических и экономических условий для устойчивого развития садоводства и питомниководства и увеличения объемов производства продукции садоводства и питомниководства. Задачами программы являются расширение площадей питомников плодовых и ягодных культур интенсивного типа; увеличение площадей промышленных насаждений ягодных культур (земляника) интенсивного типа. Увеличение площадей промышленных насаждений ягодных культур (земляника) интенсивного типа с 12,5 га в 2014 году до 27,5 га в 2016 году, будет приобретено саженцев 200,0 тыс. шт. Довести к 2016 году: - площадь молодых многолетних плодовых и ягодных насаждений с 0,9 тыс. га в 2014 году до 1,3 тыс. га. Будет посажено саженцев 231,0 тыс. шт.; - валовое производство плодово - ягодной продукции с 12 тыс. тонн в 2014 году до 14,2 тыс. тонн; - выручку от реализации растениеводческой продукции с 96,0 млн. руб. в 2014 году до 134,9 млн. руб. Увеличить численность рабочих мест с 2014 по 2016 годы на 94 единицы.

Таким образом, в стране накоплен опыт развития в этом секторе сельского хозяйства, и возникает вопрос – зачем закупать сырье у западных производителей неизвестного качества и по высоким ценам, когда у нашей страны есть все возможности выращивать, перерабатывать и контролировать качество, безопасность плодово - ягодной продукции, при этом обеспечивая высоко качественным продуктом всю Российскую Федерацию по ценам доступным для потребителей.

На сегодняшний день по решению существующей проблемы в России предлагается большое количество научных работ связанные с развитием всей перерабатывающей пищевой промышленности. Но на данный момент наиболее актуальной проблемой является переработка плодово - ягодного сырья, ведь по сравнению с плодовоовощным сырьем срок хранения в свежем виде очень короткий от 1 - 2 суток. Поэтому необходимо подойти к данной проблеме изучив все ее слабые места в области выращивания, хранения, переработки, реализации и упаковки готовой переработанной плодово - ягодной продукции, а также и в свежем виде.

Резкий спад в садоводстве поставил предприятия пищевой перерабатывающей промышленности в режим сырьевого дефицита. Он возник из - за проблем частных садовнических хозяйств, которые не могут удержаться на отечественном рынке из - за высоких налогов и не имеющейся государственной поддержки страны и в связи с этим покупателям предлагается очень дорогая отечественная плодово - ягодная продукция при этом частные хозяйства имеют высокое качество по сырьевой базе и готовой переработанной продукции, и соответствует всем потребительским критериям.

Усков В.С. в своих научных трудах предлагает развитие личных подсобных хозяйств плодово - ягодной продукции на территории Европейского Севера России. Проанализировав ситуацию данной территории, которая обладает собственными ресурсами плодово - ягодной продукции, представленными культивируемыми и дикорастущими видами. В сельскохозяйственных организациях, расположенных на территории Европейского Севера России, в настоящее время производится всего лишь 0,2 % плодово - ягодной продукции. Основное производство плодов и ягод в северных регионах страны практически сосредоточено на дачных и приусадебных участках населения. Из - за рыночных условий хозяйствования, большие затраты на возделывание плодово - ягодных культур, является малопродукторность земель в следствии чего наблюдается невысокая урожайность, краткий вегетационный период, препятствуют широкому развитию крупных садоводческих хозяйств в северных регионах [21].

Автор предлагает для регулирования регионального рынка плодово - ягодной продукции сформировать и внедрить территориально - производственные комплексы, разработать концепции освоения местных продовольственных ресурсов и ее реализацию, разработать государственную поддержку малых форм хозяйствования путем содействия в создании некоммерческих кооперативных образований, способствующих эффективности деятельности личных подсобных хозяйств занятых производством плодово - ягодной продукции, а также сбором дикорастущих ягод.

Калашников А.А. предлагает развитие плодово - ягодной продукции в Краснодарском крае с помощью маркетингового подхода. Краснодарский край является одним из наиболее крупных производителей плодово - ягодной продукции в России. На основе исследований автора основными тенденциями развития сырьевой базы рынка плодово - ягодной продукции в Краснодарском крае, является сокращение общей и плодоносящей площади многолетних насаждений в хозяйствах общественного сектора и расширение в хозяйствах населения, увеличение доли плодовой продукции в сельскохозяйственных организациях и снижение уровня интенсивности садоводческой отрасли [22].

Автор Михасев Р.В. в своих научных трудах изучает развитие плодово - ягодной продукции в Тамбовской области. Он предлагает, что первостепенной мерой является

государственное регулирование, включающее в необходимость проведения: анализа состояния рынка и содействия в проведении инновационных исследований по определению наиболее эффективных сортов продукции; оценки объема работ по раскорчевке старых и закладке молодых многолетних насаждений; культуртехнических мероприятий; сокращения налогов и предоставлении субсидирования процентной ставки по кредитам на пополнение оборотных средств и развитие производства; ограничении импорта и обеспечении развития партнерских взаимоотношений между крупными торговыми сетями и сельскохозяйственными товаропроизводителями [24].

Все предложенные варианты являются наукоемкими. Особенно необходимо уделить увеличению товарному ассортименту отечественной продукции по переработке плодово - ягодного сырья, для этого предлагаются многочисленные варианты и в первую очередь – это выращивание экологически чистого природного сырья с последующей его переработкой. Для это необходимо рассмотреть и внедрить новые конкурентоспособные способы переработки, которые предлагают авторы и запатентованы в области консервирования, замораживания, сублимационной сушки, например, обезвоживание плодово - ягодного сырья перед замораживанием или сублимационной сушкой с различными вариантами технологического процесса с целью сохранения качества соответствующим всем потребительским свойствам и органолептическим показателям без наличия в них вредных веществ, что является наиболее актуальным на сегодняшний день.

Это только самая малая часть представленных исследований в области развития и формирования рынка плодово - ягодной продукции. Представленные авторами в исследованиях предложения направлены на развитие и поднятие отрасли по выращиванию плодов и ягод в наших регионах. Цель этих исследований направлена на поднятие страны из продуктового кризиса в области плодово - ягодной продукции необходимо:

- с помощью маркетингового подхода, развить производство плодов и ягод; поручиться государственной поддержкой страны;
- разработать стратегию по выращиванию посадочного материала;
- переоснастить плодово - ягодные хранилища сырья современным оборудованием;
- усовершенствовать отечественное оборудование по переработке плодов и ягод; расширить ассортимент выпускаемой продукции;
- внедрить новые технологии по переработке в области консервирования, замораживания и сублимационной сушки плодово - ягодной продукции.

Поэтому немаловажным значением и наиболее актуальной проблемой на сегодняшний день является переработка отечественных плодов и ягод с сохранением потребительских свойств. Развитие экономики перерабатывающих предприятий плодово - ягодной продукции в России происходит в условиях жесткой конкуренции с производителями зарубежных стран. Еще недостаточно только вырастить качественное сырье, сохранить его в потребительском виде и в соответствии с органолептическими показателями, необходимо переработать и реализовать как конкурентоспособную продукцию для потребителей.

Предлагаемый ассортимент отечественного переработанного плодово - ягодного сырья по сравнению с ассортиментом западных производителей на наших рынках небольшой. Необходимо расширять товарный ассортимент выпускаемой продукции, запланировать масштабы производства и объемы реализации. Для развития экономики перерабатывающие предприятия плодово - ягодное сырье, необходимо увеличить их

потенциал и повысить конкурентоспособность, а также рассмотреть все факторы, которые повлияют на данные процессы.

Рассмотрим и такой вариант если один из используемых методов не даст перерабатывающему предприятию обеспечения высоких, обоснованных с точки зрения экономики, конкурентоспособных преимуществ, то упор необходимо сделать на отпускную цену. В этом случае предприятие должно осуществлять строгий контроль издержек и усиленный поиск внешних путей финансирования. Однако появление пробелов в процессах управления производством показало, что в условиях рынка планирование является основной базовой функцией, что подтверждается опытом успешно развивающихся и работающих западных предприятий.

Развитие рыночных методов хозяйствования заставляет задуматься и переосмыслить место и роль планирования в экономике перерабатывающих предприятий. Ведь во всех развитых странах существует планирование в виде формы государственного воздействия на экономику, которое замечательно вписывается в условия рыночного механизма хозяйствования [14]. Успешное функционирование перерабатывающих предприятий России в условиях современных рыночных отношений требует развития той стратегии, которая является лишь элементом общеэкономической стратегии развития предприятия в целом. Кроме этого особого внимания требует изучение состояния рынка сбыта, выявление сильных и слабых сторон предприятия, а также анализ его конкурентоспособности.

Необходимо помнить, что защита отечественного производителя не должна привести к застою в перерабатывающей пищевой промышленности, поскольку ограничение конкуренции со стороны импортных производителей плодово - ягодной продукции, может снизить желание научно исследовательских институтов, организаций, предприятий, занимающихся развитием, совершенствованием и разработкой новыми технологиями, производствами, для повышения конкурентоспособности производимой плодово - ягодной продукции. Поэтому не получится скопировать только технологию у западных производителей, необходимо будет изменять и развивать производство перерабатывающей промышленности плодово - ягодной продукции.

Изучая рынок западных стран потребителям предлагается огромный ассортимент по переработанной плодово - ягодной продукции. Например, ассортимент одного только вида готового переработанного продукта насчитывается около 10 разновидностей. Такая ягода как клюква всем известна за свои целебные свойства и чтоб она была доступна круглый год, потребителям предлагается разнообразный товарный ассортимент, например, в виде сушеной с добавлением различных компонентов. Наши отечественные производители предлагают потребителям очень скудный ассортимент собственной продукции. Теперь зададимся вопросом в чем проблема такого маленького ассортимента, представленного на Российский рынок отечественной продукции, но, а о конкуренции с западными производителями речи и вообще нет.

Во - первых, развитие и изменение производства по переработки плодово - ягодной продукции на высоком уровне невозможно без квалифицированных в соответствующей области кадров. Первостепенной задачей является – это стремление вырастить свои профессиональные кадры, для этого созданы научные исследовательские институты, где постоянно исследователи работают, улучшают и предлагают инновационные технологии с

внедрением в производство. Если государство не готово уделять этой проблеме достаточно внимания, то вопрос развития высокотехнологичных и наукоемких отраслей не удастся разрешить в ближайшее время и отечественная продукция не будет конкурентоспособной.

Необходимо так же отметить важность участия отечественных компаний в цепочках транснациональных корпораций, что позволяет с гораздо меньшими затратами начинать развитие новых производств. Очень часто транснациональные корпорации, столкнувшись с различными рода ограничениями импорта, невысокой платежеспособностью развивающихся стран, вынуждены идти на замену экспорта товаров для налаживания соответствующих производств на месте, что приводит к росту конкуренции, борьбе за снижение издержек производства и соответственно развитию наукоемких производств. Все это способствует росту индустриализации страны и росту ее конкурентоспособности [18].

Отмечая положительные моменты, которые несет в себе импортозамещение, не нужно забывать и о его недостатках. Говоря о данной стратегии, необходимо помнить о защите внутреннего рынка и конечно бизнеса. Частные отечественные производители зачастую работают неэффективно, стараются получить только прибыль не обращая внимание на качество предлагаемой продукции пользуясь своим монопольным положением на рынке поднимают цены в соответствии с импортной готовой продукцией которая закупается у западных производителей. Приобретенная технология у западных производителей — это еще не путь к успеху, необходимо грамотно и правильно применить с помощью квалифицированных специалистов, а для этого понадобится вложить большие финансовые средства. Нововведение должно быть тщательно взвешено проанализировано в области производства связанной с новой технологией.

Изучая данную проблему научные ученые полагают, что развитие производства перерабатывающей пищевой промышленности может идти несколькими путями – созданием мощной технологической базы или созданием инноваций, так же эти два направления могут реализовываться, одновременно, дополняя и расширяя друг друга [18,19].

Профессор Кембриджа Карлота Перес полагает, что для выбора подходящих отраслей для развития производства перерабатывающей плодово - ягодной промышленности, необходимо выделить определенные сегменты, которые имеют большой потенциал роста и именно в них искать актуальные инновационные решения, которые можно применить и последовательно улучшить условия развития производственного потенциала плодово - ягодной продукции и создать более развитые технологии, таким образом, выведя эти отрасли в авангард промышленности [19].

Он предлагает и другой путь необходимо определить наиболее развитые технологии и основываясь на них начинать развитие соответствующих отраслей промышленности. Этот способ основывается на том, что развитие инновации имеет определенную временную логику. Инновации, которые обновляют промышленный потенциал, возникают всегда ориентировочно за много лет до этого. В нашей стране еще существует задел инноваций, который был создан еще в советское время и сейчас в сложный момент для страны сможем на него опереться [19].

Профессор Эрик Райнерт предлагает еще один вариант выбора отраслей для развития, где необходимо проанализировать динамику производств до наступления кризиса и те

сегменты, где были наибольшие потери в выпуске, имеют наибольший потенциал развития [19].

Таким образом, подводя итог вышесказанному нужно отметить, что для достижения максимально положительного эффекта в процессе повышения конкурентоспособности предприятий перерабатывающих плодово - ягодную продукцию необходимо реализация стратегии импортозамещения. Для этого в первую очередь, чтоб в корне менять ассортимент в производстве по переработки плодово - ягодной продукции необходимо изучить вкусы потребителей, какой вид переработки предпочитают: консервирование, замораживание, высушивание одним словом говоря сделать более глубокий маркетинговый анализ. Каждый способ переработки имеет свои особенности и может предложить более расширенный ассортимент в данной области.

В зависимости от решаемых задач, выбирается тот или иной способ обработки, который определяется применимостью к различным видам ягод – это стоимость переработки, производительность, потребительская ценность полученной в начале, в конце и длительности сроков хранения. В настоящее время каждый из этих способов продолжает развиваться.

Для предприятий, перерабатывающих плодово - ягодное сырье предлагается сублимационная сушка, которая широко применяется и развивается в наши дни. В исследованиях Ермолаева В.А., Масленниковой Г.А., Комаровой Н.А., Федорова Д.Е. процесс обработки включает замораживание, сублимирование и досушивание. Ягоды помещают в специальную сушильную камеру, в которой при помощи вакуум - насоса понижается давление до 10 - 30 Па. Происходит их замораживание, в результате чего внутри ягод образуются кристаллы льда. В процессе сублимации эти кристаллы исчезают. Досушивание происходит при включении лампы, которая нагревает ягоды инфракрасными лучами и удаляет оставшуюся влагу [6].

На основе исследований авторов, предложенный способ обработки сохраняет внешний вид, ароматические вещества, пищевую ценность и полезные свойства ягод. Готовое сырье можно использовать в сушеном виде как самостоятельный продукт, так и дополнительный компонент в различные изделия. Возврат продукта в первоначальное состояние производится путем размачивания сушеных ягод в воде, в результате происходит их набухание и ягоды приобретают исходную форму идентичную ягоднему сырью.

В своих исследованиях Федоров Д.Е., Ермолаев В.А., Масленникова Г.А. рассматривают вакуумный способ сушки плодово - ягодного сырья. Авторы предлагают измельчить ягоды до размера 5 - 10 мм, а затем поместить продукцию в вакуумную камеру. Процесс обработки состоит из двух этапов – применение различного давления и температуры сушки [7]. Исследования показали, что способ позволяет создать сушеные ягоды с высоким качественным показателем. При этом процесс высушивания сокращается, и энергетические затраты снижаются в следствии чего и снижается себестоимость продукции.

Конвективный способ обработки предлагают в своей работе Бауэр Е.П., Воробьева Н.Н. Согласно их способу ягоды замораживаются, механически измельчаются и сушатся в два этапа: сначала при температуре сушильного агента 35 - 40°С в течение 1 - 2 часов, а затем при температуре сушильного агента 45 - 55°С досушивают [2]. Исследования авторов показали, что предложенный ими способ обработки ягод позволяет сохранить в продукте витамины, ценные минеральные вещества. Такую продукцию можно использовать при выработке чайных напитков, киселя, кондитерских изделий, начинок для пирогов, добавок к мороженому, творожных масс, йогуртов.

Авторы Чекрыгина И.М., Букреев В.Г., Еремин А.Д. предлагают способ сушки ягод, который состоит из четырех этапов. На первом этапе ягоды нагревают «токами низкой

частотью» до 55 - 65°C. При этом происходит обеззараживание продукта. На втором, третьем и четвертом этапах ягоды сушат энергией ИК - излучения и СВЧ - энергией с плотностью потока мощности не более 0,2, 0,3 и 0,4 Вт / см² соответственно [23]. Исследования показали, что обработка ягод таким способом обеспечивает более низкие энергозатраты, также при этом повышается качество готового продукта и обеспечивает высокий уровень обеззараживания.

В настоящее время наиболее актуальной областью исследования является способы обезвоживания ягодного сырья путем замораживания, вакуумной и сублимационной сушкой.

Масленникова Г.А. в своем научном труде, посвященном технологии обезвоживания ягодного сырья, разработала технологическую схему производства сушеных ягод. Она включает в себя оценку сырья по органолептическим и физико - химическим показателям, на основе которой осуществляется его первичная обработка. Автор провел два параллельных эксперимента, подвергнув один образец клюквы сублимационной сушке при температуре 50°C с предварительным замораживанием в течение 90 мин при температуре минус 20°C, а другой – вакуумной сушке при температуре 70°C в определенных условиях без замораживания. Затем продукция была охлаждена, расфасована и упакована. После чего образцы были отправлены на хранение при температуре (20±2)°C на 12 месяцев и при температуре (4±2)°C на 18 месяцев [13]. Автор провел исследования по микроструктурному анализу ягод до и после сушки, которые позволяют обнаружить воздействие факторов на клеточном уровне. В процессе технологической обработки была удалена вся влага внутренних и наружных клеточных стенок. В результате чего в ягодах сохранился только наружный эпителий, который после сушки стал очень хрупким и рассыпчатым. По результатам исследования установлено, что при вакуумной и сублимационной сушке происходит разрушение клеточной структуры. Изменения микроструктуры у ягод с меньшим влагосодержанием происходят в меньшей степени, чем у ягод с большим содержанием влаги. При сублимационной сушке микроструктура ягод повреждается в меньшей степени, чем при вакуумной сушке, так как перед сублимационной сушкой ягоду предварительно замораживают в течение 90 мин при температуре минус 20°C.

Сушка сублимационным способом в лучшей степени помогает сохранить свойства продукции, чем сушка вакуумным способом. Оценка пищевой ценности ягод сублимационной сушки по органолептическим, физико - химическим показателям, степени перевариваемости и усвояемости показывает ее незначительные отличия от исходного сырья. После такой технологической обработки очень хорошо сохраняются витамины, минеральные вещества и другие важные показатели пищевой ценности продукции. Аромат и вкус клюквы остаются неизменными.

Рассматривается сублимационная сушка плодово - ягодного сырья с использованием ультразвука. Исследования по технологии разработки высушивания за счет звукового поля провела Анисимова К.А. Во время ультразвуковой сушки ускоряются процессы тепломассообмена без повышения температуры ягод. В результате исследований, проведенных автором, установлено, что воздействие ультразвука на процесс сушки проявляется при интенсивности звуковых колебаний 130 - 140 Дб, частоте колебаний $\nu = 18 \pm 2$ кГц [1].

Всем известно, что некоторые ягоды содержат большое количество витамина С, и поэтому при сушке необходимо сохранить, и чтобы потеря была минимальной. Анисимова К.А. установила, что при температуре 20°C потери аскорбиновой кислоты больше, чем при температуре от 0 до 10°C, так как при таких условиях (20°C) сублимация льда занимает меньше времени, большая часть влаги удаляется из жидкого состояния. Следовательно,

автором было установлено, что оптимальным является температурный режим от 0 до 10°C [1].

Другими авторами Мякинниковой Е.И. и Касьяновым Г.И. разработаны способы низкотемпературного обезвоживания ягодного сырья в среде углекислого газа при давлении выше атмосферного с последующим резким сбросом давления под воздействием электромагнитного поля низкой частоты. Результаты исследования показали, что такой способ сублимационной сушки обеспечивает более интенсивный перенос влаги из глубинных слоев к поверхности продукта, следовательно, продолжительность обезвоживания сокращается. По мнению авторов, представленный процесс технологической обработки ягод позволяет получить продукт высокого качества с максимальным содержанием биологически активных веществ исходного сырья [17].

Предлагает инновационный способ обработки плодово - ягодного сырья перед замораживанием. Ягодное сырье выдерживается при комнатной температуре в 70 % растворе сахарозы. После чего ягоды предварительно охлаждают до 0 - 1°C, а затем замораживают при температуре минус 24°C, до достижения конечной температуры в центре ягоды минус 18°C.

На рисунке 2 разработана схема переработки ягодного сырья для предприятий питания. Процесс обработки ягод состоит из простых операций и не требует дополнительного образования в области замороженной продукции.



Рисунок 2. Схема переработки ягодного сырья.

Разработанная технология переработки ягод позволит предприятиям питания самостоятельно заготавливать сезонную продукцию, перерабатывать и использовать её, когда свежая становится менее доступной.

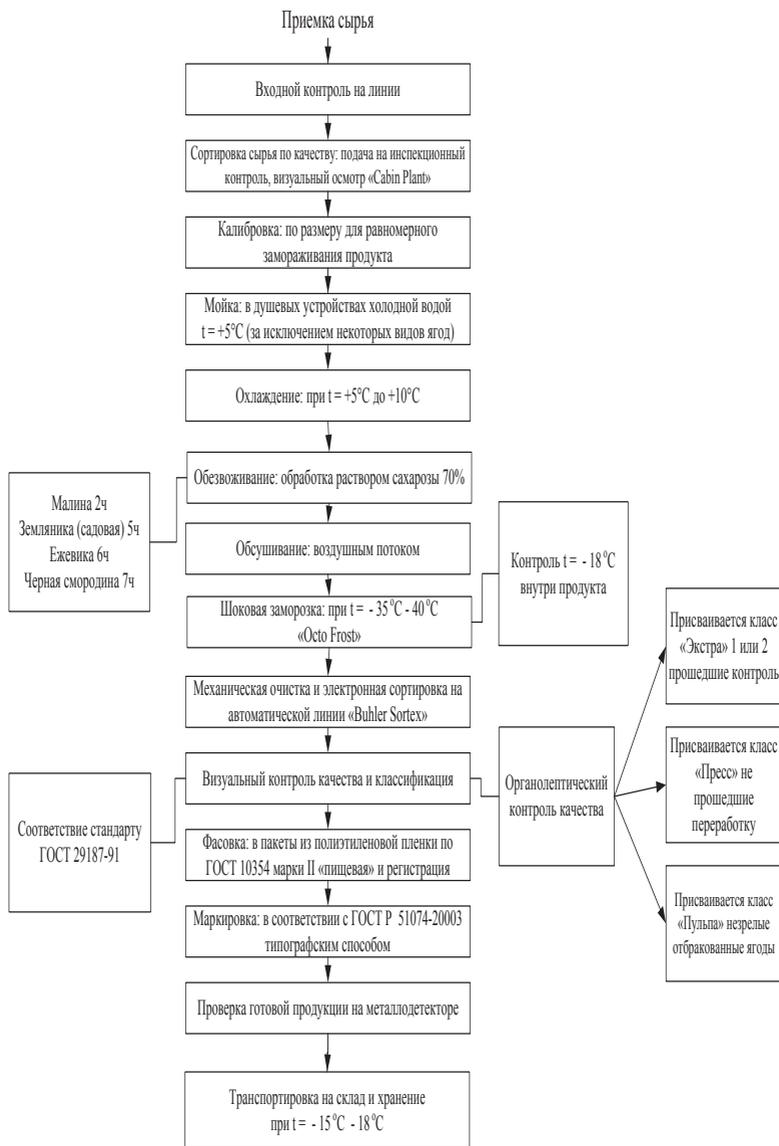


Схема 3. Интегрированная схема переработки ягодного сырья.

Для перерабатывающих предприятий плодово - ягодного сырья разработана ресурсосберегающая технология, которая позволит повысить качество замороженных ягод, потребительскую оценку, сохранить пищевой состав и витаминный комплекс. На рисунке 3 представлена интегрированная схема переработки ягодного сырья для перерабатывающих промышленностей.

В производственные этапы по подготовке к замораживанию ягод и сам процесс замораживания, включен процесс обезвоживания ягод раствором сахарозы.

Следовательно, для предприятий питания создаются возможности самостоятельно осуществлять заготовки замороженных полуфабрикатов, с целью бесперебойного использования в период дефицита свежей ягодной продукции как более качественной альтернативы традиционной замороженной ягодной продукции.

Внедрение технологии переработки свежих ягод позволит пищевой перерабатывающей промышленности плодово - ягодного сырья усовершенствовать и получить новый вид замороженной ягодной продукции.

Исследования показали, что данный способ обработки позволяет сохранить потребительские свойства и пищевую ценность ягод за счет обезвоживания их в растворе сахарозы и замораживании при оптимальной криоскопической температуре. Ягоды, прошедшие предварительное обезвоживание с последующим замораживанием можно использовать в размороженном виде как готовый продукт.

Предложенные авторами способы переработки ягодного сырья являются наукоемкими и перспективными, так как позволяют обеспечить в течение длительного времени сохранность высоких потребительских свойств готового продукта, которые включают в себя пищевую и энергетическую ценности, безопасность потребления и органолептических показателей. Таким образом, совершенствование технологии переработки и поиски новых вариантов ее осуществления являются целью многих научных исследователей. Ведь сохранение высокого качества продукции – это ключевой момент в пищевой промышленности. Россия имеет хороший потенциал для развития перерабатывающей пищевой промышленности с целью расширения ассортимента переработанной готовой плодово - ягодной продукции за счет внедрения новых прогрессивных технологий и быть конкурентоспособными на мировом рынке.

Необходимо также отметить, что тенденции, развивающиеся в российском обществе, с каждым днем невольно популяризируют данную продуктовую категорию. Растущие доходы ведут к росту спроса на более усложненные и новые виды продуктов питания, продукты с высокой добавленной стоимостью, инновационные качественные продукты. Сегмент дешевых продуктов низкого качества будет неуклонно сокращаться. Доля расходов на такие продукты питания в структуре дохода российского потребителя будет оставаться основной (порядка 30 %) и в долгосрочной перспективе, в то время как доля аналогичных расходов в развитых странах составляет порядка 10 % .

Использование данной продуктовой категории в сфере общественного питания имеет большое количество плюсов, как с точки зрения технологии, качества и безопасности, так и с экономической точки зрения. Помимо того, что предприятия питания могут получать стандартизованный продукт стабильного качества, они сокращают затраты на персонал (нет необходимости чистить, мыть и перебирать ягоды) и оптимизируют производственные площади. Данные продукты могут использоваться при приготовлении широкого ассортимента блюд, фруктовых салатов, холодных закусок, горячих блюд и кондитерских изделий.

Разработка и внедрения новой технологии, или совершенствования отдельных ее элементов диктует необходимость исследования и сопоставления технико - экономического уровня и экономической эффективности различных вариантов.

Основным методологическим принципом определения экономических эффектов является сравнение вариантов при равенстве всех условий, кроме тех изменений, которые могут появиться в результате внедрения новой технологии.

Для этого необходимо обеспечить требуемую сопоставимость сравниваемых вариантов по следующим основным параметрам: объему обрабатываемой продукции, качеству продукции после обработки; фактору времени; методам и способам исчисления натуральных и стоимостных показателей; ценам, стоимостным единицам, применяемым для выражения затрат и полученного эффекта; социальному значению производства и использования сохраняемой продукции. В процессе хранения продукции возможны различные варианты возникновения экономического эффекта, в связи, с чем необходимо разделить на две основные категории: технологические, т.е., связанные с совершенствованием технологии подготовки и хранения продукции, и «внешние», обусловленные действием внешних непрямых факторов. Как первые, так и вторые могут «материализоваться» в следующих формах:

- сокращение цен на обрабатываемое сырье (т.е. эффект «покупной цены»);
- сокращение потерь конечной продукции;
- прямая экономия затрат на проведение операций по технологии хранения или отдельных структурных элементов;
- повышение качества конечной продукции, приводящее либо к росту цен реализации, либо к увеличению спроса на продукцию.

Реальный эффект от роста цен реализации в период сезонного спроса возможен лишь в условиях, когда сохраняемая продукция не встречает конкуренции со стороны товаров - заменителей. Такой эффект чаще всего не связан непосредственно с совершенствованием технологических процессов, он может возникать и в другие периоды и полностью зависит от ситуации на рынке.

Отечественная перерабатывающая промышленность плодов и ягод является очень важной и для населения, и для всего народного хозяйства страны. Но в настоящее время в стране практически отсутствуют плодоперерабатывающие предприятия с современным оборудованием. Основная доля плодово - ягодной продукции выпускается специализированными крупными и средними предприятиями. Перемещение производства плодово - ягодной продукции в частный сектор, где оно в основном является натуральным, вызвало сокращение поступления сырья для перерабатывающих предприятий и снижение выпуска сухофруктов, соков, компотов, джемов консервов и быстрозамороженной плодово - ягодной продукции. Как говорилось уже ранее к сожалению, в нашей стране, например, на консервирование идет всего лишь около 15 % валового сбора ягод и плодов, в то время как в развитых странах мира доля плодово - ягодной продукции, которая потребляется в переработанном виде, практически вдвое больше. Проблема возникает и в отсутствие в сельском хозяйстве интенсивных технологий, что препятствует дальнейшему развитию этого сектора, следствии чего нет стабильности валового сбора ягод и плодовых культур.

Также следует отметить, что большая часть некондиционной продукции списывается и не поступает в переработку, поэтому в числе задач развития отрасли – создание современных плодоперерабатывающих предприятий. Решить эти вопросы невозможно без эффективной государственной поддержки.

23 мая 2014 г. В.В. Путиным было заявлено, что Россия будет проводить активную политику импортозамещения в соответствии с нормами ВТО и обязательствами перед партнёрами Евразийскому экономическому союзу. Также было сказано, что поддержка импортозамещения будет осуществляться только в тех направлениях, где это перспективно, где российские производители могут и должны быть конкурентоспособными.

В результате антисанкций Россия получила шанс превратиться в ведущую аграрную державу. Временный запрет на сельхозпродукцию из стран, присоединившихся к антироссийским санкциям, может привести к революционным переменам в российском сельском хозяйстве, росту инвестиций в аграрный сектор и значительному увеличению сельхозпроизводства. Одновременно инвестиции приведут к технологическому развитию сельхозпереработки, а также росту вложений в инфраструктуру, которая должна дать возможность развивать производство.

Реализация модели успешного производства плодово - ягодной продукции возможно только при сочетании нескольких составляющих: государственной поддержки, росту инвестиций, научного обеспечения, наличия квалифицированных кадров и готовности бизнеса к участию в проектах.

Для того, чтобы совершенствовать методологию эффективной организации импортозамещения плодово - ягодной продукции, необходимо:

- расширить производство плодово - ягодного сырья за счет развития и налаживания садоводства и питомниководства в РФ;
- наладить бесперебойные поставки российского плодово - ягодного сырья на перерабатывающую промышленность;
- за счет увеличения объемов собственного производства повысить конкурентоспособность плодово - ягодной продукции и качество ее переработки;
- создать качественную сырьевую базу с благоприятными почвенно - климатическими и экономическими условиями для производства продукции АПК на экспорт даже в кризисной ситуации;
- внедрить инновационные технологии по переработке плодов и ягод с целью расширения товарного ассортимента и переоснастить перерабатывающие предприятия современным оборудованием и повысить уровень квалифицированным кадровым составом за счет научно институтской базы.
- сократить импорт и вернуть собственный рынок производителям РФ;
- разработать пакет мер по поддержке отечественных предприятий, способных производить конкурентную продукцию и создать специальный фонд развития отечественной промышленности.

Развитие плодово - ягодной отрасли внесет существенный вклад в отечественный агропромышленный комплекс и укрепление продовольственной безопасности России. Поэтому на данный момент перед российскими садоводами и производителями перерабатывающих плодово - ягодное сырье стоит важная задача – повысить конкурентоспособность отечественной продукции за счет улучшения качеств и расширения товарного ассортимента плодово - ягодной продукции, что позволит существенно увеличить присутствие отечественной плодово - ягодной продукции на внутреннем рынке и сделать важный шаг на пути решения проблемы продовольственной безопасности в данной сфере.

Список использованной литературы:

1. Анисимова К.В., Поробова О.Б., Анисимов А.Б. Переработка продукции сельского хозяйства // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. №2. 2013.
2. Бауэр Е.П., Воробьева Н.Н. Патент № 2428039 «Способ получения сушеных ягод», 2011.
3. Борисова О.В., Хропатая И.Ю. Развитие рынка ягод как фактор обеспечения продовольственной безопасности региона // Фундаментальные исследования. Экономические науки. № 2, 2015.
4. Глотко А.В. Размещение и состояние садоводства в Алтайском крае // Вестник ОГУ. № 6. 2005. – С. 83–86.
5. Голуб В.И. Концепция формирования качества плодово - ягодной продукции // Пищевая промышленность № 2, 2009.
6. Ермолаев В.А., Масленникова Г.А., Комарова Н.А., Федоров Д.Е. Исследование процессов сублимационной сушки ягод. Журнал: Техника и технология пищевых производств. - М.: № 1(20) 2011.
7. Ермолаев В.А., Федоров Д.Е., Масленникова Г.А. Патент № 2462867 «Способ вакуумной сушки ягод», 2012.
8. Итоги работы предприятий пищевой и перерабатывающей продукции за 2005 г. // Пищевая промышленность, 2006, № 3. С. 8 - 14.
9. Итоги работы предприятий пищевой и перерабатывающей продукции за январь - сентябрь 2006 г. // Пищевая промышленность, 2006, № 11. С. 22 - 24.
10. Капельное орошение и фертигация — залог высокого урожая плодов в интенсивном саду: сайт. Москва, 2012. URL: http://www.yug-poliv.ru/article/tehnologii_vyrashchivaniya/kapelnoe_oroshenie_i_fertigatsiya_zalog_vysokogo_urozhaya_plodov_v_intensivnom_sadu/ (дата обращения 20.07.2012).
11. Концептуальные основы обеспечения продовольственной безопасности России. – М.: ГНУ ВНИИЭСХ, 2008. – 176 с.
12. Крылатых Э.Н. Агропродовольственные системы: исследование процессов интеграции, конкуренции, инноваций. – URL: <http://www.gosnou.ru/pub/conferens/03.doc>. (дата обращения: 15.03.2015).
13. Масленникова Г.А. Разработка технологии низкотемпературного вакуумного обезвоживания ягодного сырья: Автореф. дис... канд. техн. наук: - Кемерово, 2013. 18 с.
14. Министерство сельского хозяйства обсудило проблемы развития садоводства и питомниководства. – URL: http://www.banki31.ru/news/region_news/28871.html (дата обращения: 08.09.2014).
15. Минсельхоз зафиксировал нехватку ягод и фруктов России. – URL: <https://news.mail.ru/economics/21440586/frommail=1> (дата обращения: 16.03.2015).
16. Михасев Р.В. Формирование и развитие регионального рынка плодово - ягодной продукции. Автореф. дис... канд. экон. наук. Мичуринск - наукоград РФ, 2010. 22 с.
17. Мякинникова Е.И. Использование электрофизических и газожидкостных технологий для сушки плодового сырья // Техника и технология пищевых производств. – Т. 37. № 2. 2015 – С. 48–53.
18. Перегородиева Л.Н. Перспективы реализации стратегии импортозамещения в России 2012. Midea. Интернет - журнал. URL: <http://protestirui.ru/pravo/49> - (дата обращения: 21.12.2012).
19. Половинкин В.Н. Фомичев А.Б. Проблемы импортозамещения в отечественной экономике. Журнал "Экспертный союз" № 12. 2015.

20. Регионы России. Социально - экономические показатели. 2014: Стат. сб. / Росстат. – М., 2014. – 900 с.

21. Усков В.С. Формирование и функционирование локального рынка плодово - ягодной продукции на основе развития личных подсобных хозяйств на территории Европейского севера России. Автореф. дис... канд. экон. наук. Мурманск, 2014. 19 с.

22. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник – 2010.

23. Чекрыгина И.М., Букреев В.Г., Еремин А.Д. Патент № 2194228 «Способ сушки и обеззараживания фруктов и ягод», 2002.

24. Экономическая оценка эффективности производства плодов и ягод URL: <http://bargu.by/1865-ekonomicheskaya-ocenka-effektivnosti-proizvodstva-plodov-i-yagod.html> (дата обращения: 31.03.2012).

© Н.А. Грибова, 2016

УДК 004.8

Емельянов В.А.

канд. техн. наук, доцент

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

г. Севастополь, РФ

Емельянова Н.Ю.

канд. техн. наук, доцент

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

г. Севастополь, РФ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Гибридные интеллектуальные системы поддержки принятия решений (СППР) представляют собой объединение традиционных СППР, основанных на базе знаний, искусственных нейронных сетей, а также других технологий искусственного интеллекта таких, как системы нечёткого вывода и генетические алгоритмы в различных конфигурациях.

Теория нечётких множеств и нечеткой логики является в исследованиях основным инструментом для моделирования и обработки нечёткой, лингвистической информации, для моделирования нечёткости рассуждений человека, его способности использовать приближённые оценки для описания сложных, плохо формализуемых процессов принятия решений. Существенный недостаток нечётких систем заключается в том, что они не обладают способностью обучения, и нет возможности адаптации построенных моделей к изменяющейся ситуации. Результаты нечёткого логического вывода очень сильно зависят от вида функций принадлежности, при помощи которых формализуются используемые в системе нечёткие термы. Поэтому в исследованиях для корректировки параметров функций принадлежности и адаптации нечётких систем в процессе их работы применяются нейронные сети. Искусственные нейронные сети характеризуются возможностью параллельной обработки данных, а также уникальной способностью обучаться и адаптироваться. Однако классические нейронные сети способны обрабатывать исключительно только количественную информацию, а также в состоянии научиться

требуемым соотношениям только между численными входными и выходными сигналами. Поэтому интеграция двух независимых интеллектуальных технологий: искусственных нейронных сетей и теории нечётких множеств и логики позволяет создавать новую, более универсальную методологию обработки различных видов знаний и моделирования сложных процессов. Интеграция искусственных нейронных сетей и теории нечёткой логики носит естественный характер и даёт принципиально новое качество получаемой в результате технологии: нейронно - нечёткие системы обладают двумя важными интеллектуальными свойствами – лингвистичностью, т.е. способностью использовать знания на естественном языке, а также обучаемостью и адаптацией к изменяющимся условиям.

1. Нечёткие нейронные сети на основе многослойного персептрона

Рассмотрим нечёткие нейронные сети, которые являются обобщением и расширением классических многослойных нейронных сетей, а также первичной основой исследований методов интеграции интеллектуальных технологий [1 - 4]. Нечёткие нейронные сети строятся на основе многослойного персептрона, который является прямонаправленной нейронной сетью, характеризующейся передачей информации от входного уровня через K дополнительных скрытых слоёв к выходному слою. Согласно [4], все виды входной информации как бы „встраиваются” в структуру нечёткой нейронной сети в процессе обучения сети. Очередным важным заданием является разработка механизма выводов, который для определённых выше видов входных данных сможет генерировать ответы системы. Эти проблемы в представляемом подходе решаются следующим образом: входная информация и соответствующая ей выходная информация обрабатывается при помощи двух интерфейсов, построенных на основе теории нечётких множеств и нечёткой логики. Эти интерфейсы имеют одинаковую структуру и преобразуют информацию до такого вида, который далее может быть обработан при помощи классической нейронной сети. Основная концепция обработки входной и выходной нечёткой информации представить можно выполнением таких операций в последовательности, как на рис. 1.

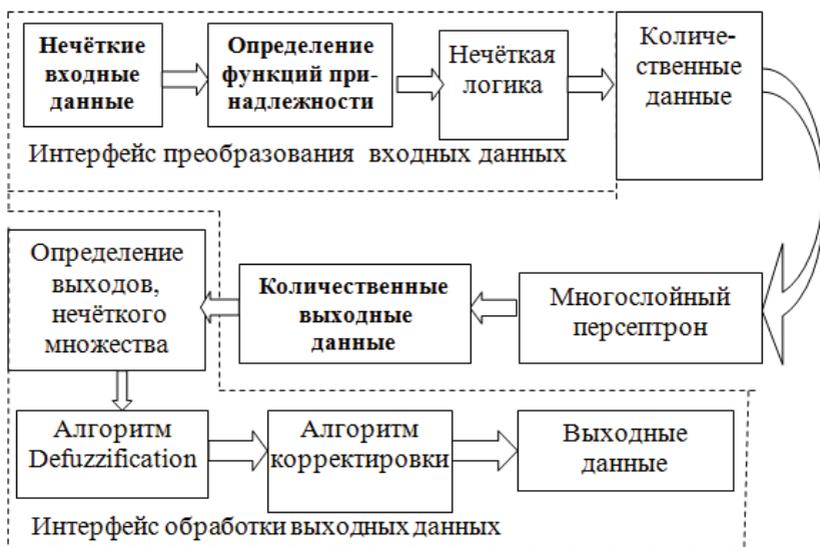


Рисунок 1 – Схематическая концепция структуры нечёткой нейронной сети.

Для реализации нечёткой нейронной сети на основе выше представленного подхода рассмотрим систему с n входами: $x_1, x_2, \dots, x_n (x_i \in X_i, i=1, 2, \dots, n)$ и m выходов: $y_1, y_2, \dots, y_m (y_j \in Y_j, j=1, 2, \dots, m)$. Качественная информация, описывающая поведение этой системы представлена в виде состава K лингвистических условных правил:

IF (x_1 is A_{1l}) **AND** (x_2 is A_{2l}) **AND** ... **AND** (x_n is A_{nl})
THEN (y_1 is B_{1l}) **AND** ... **AND** (y_m is B_{ml}).
AND **AND** (1)

IF (x_1 is A_{1k}) **AND** (x_2 is A_{2k}) **AND** ... **AND** (x_n is A_{nk})
THEN (y_1 is B_{1k}) **AND** ... **AND** (y_m is B_{mk}),

в которых $A_{ik}, B_{jk}, (i=1, 2, \dots, n), (j=1, 2, \dots, m)$ и $(k=1, 2, \dots, k)$, представляют определённые лингвистические понятия, которые описывают соответствующие входы и выходы системы.

Эти понятия формально представляют собой нечёткие множества, которые для упрощения обозначения также назовём A_{ik} и B_{jk} , причём $A_{ik} \in R(X_i)$ и $B_{jk} \in R(Y_j)$, где $R(X_i)$ и $R(Y_j)$ – означают классы всех нечётких множеств, определённых соответственно на множествах X_i и Y_j .

Количественную (численную) информацию, описывающую поведение системы можно представить в виде состава L множеств численных данных следующего типа: $(x_{1l}, x_{2l}, \dots, x_{nl}, y_{1l}, y_{2l}, \dots, y_{ml})$, где $l=1, 2, \dots, L, a(x_{il} \in X_i), (y_{jl} \in Y_j)$.

Численную информацию можем также представить в виде системы L условных правил вида:

IF ($x_1 = x_{1l}$) **AND** ... **AND** ($x_n = x_{nl}$)
THEN ($y_1 = y_{1l}$) **AND** ... **AND** ($y_m = y_{ml}$) **AND** ... $l=1, 2, \dots, L$. (2)

В зависимости от решаемых проблем и вида входной информации некоторые правила из представленных выше (1) и (2) могут характеризоваться разной степенью достоверности. Формально можно описать это в составах правил следующим образом:

IF (x_1 is A_{1l}) **AND** (x_2 is A_{2l}) **AND** ... **AND** (x_n is A_{nl})
THEN (y_1 is B_{1l}) со степенью достоверности α_{1k} (3)
AND ... **AND** (y_m is B_{ml}) со степенью достоверности α_{mk} ,
 причём $k=1, 2, \dots, K, \alpha_{jk} \in (0, 1], j=1, 2, \dots, m$.

Следует также отметить, что принятая в (1) и (2) форма записи вида правил „IF...THEN”, представляющая связь между определёнными входными и соответствующими им выходными величинами, не всегда должна быть интерпретирована как обязательная импликация в математическом смысле.

Это часто бывает сопоставления определённых данных входных и выходных.

Для создания структуры интерфейсов необходимо определить составы исходных нечётких множеств каждого из входов X_i , для $i=1, 2, \dots, N$ и каждого выхода Y_j , для $j=1, 2, \dots, M$. Состав исходных нечётких множеств данных входа или выхода выполняет группировку данных, характеризующих этот вход или выход, в определённое количество классов, при этом каждый класс представляет определённое базовое нечёткое множество.

Допустим, что для каждого входа $x_i (x_i \in X_i, i=1, 2, \dots, n)$ определён состав базовых нечётких множеств $\chi_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik}, \dots\}$, причём $A_{ik} \in R(X_i)$. Таким же образом для каждого выхода также определим составы базовых нечётких множеств: $y_j = \{B_{j1}, B_{j2}, \dots, B_{jk}, \dots\}, (j=1, 2, \dots, m), B_{jk} \in R(Y_j)$. Заданием интерфейсов является преобразование входной информации в виде составов

базовых нечётких множеств в отображение состава параметров, в результате чего заменить нечёткое множество составом параметров, определённым в ограниченной конечной области и уменьшить размер задачи.

1.1 Обучение нечёткой нейронной сети

Процессу настройки поддается многослойный прямонаправленный персептрон, т.е. классическая нейронная сеть, входящий в состав нечёткой нейросетевой модели. В этом случае значительно повышаются требования по сравнению с традиционными применениями. Это связано, прежде всего, с тем, что в процессе обучения выходные сигналы классической нейронной сети сравниваются в данном случае с выходами, которые генерируются в выходном модуле нечёткой нейронной системы. Эти модули генерируют наборы чисел, принадлежащих интервалу $[0,1]$ (а не множеству $\{0,1\}$, как происходит в процессе обучения классической сети).

Введём следующее обозначение:

- ◆ $N = a_1 + a_2 + \dots + a_n$ – общее число всех входов классической нейронной сети,
- ◆ N_l – количество элементов в дополнительном, скрытом слое,
- ◆ $M = b_1 + b_2 + \dots + b_m$ – общее число всех выходов этой сети,
- ◆ P – общее количество наборов тренировочных данных, генерируемых входными и выходными модулями в нечёткой структуре, используемых в процессе обучения нейронной сети.

- ◆ d_l^p – желаемый выходной l сигнал сети для тренировочных данных p ,
- ◆ v_l^p – действительный ответ на выходе l нейронной сети для набора p .
- ◆ Q_l^p – является частичной величиной ошибки для l выхода сети,
- ◆ Q^p – ошибка для всех выходов сети, которую рассчитаем следующим образом:

$$Q_l^p = (d_l^p - v_l^p)^2, l = 1, 2, \dots, M, p = 1, 2, \dots, P,$$

$$Q^p = \sum_{l=1}^M Q_l^p = \sum_{l=1}^M (d_l^p - v_l^p)^2, p = 1, 2, \dots, P \quad (4)$$

Глобальный показатель качества сети, т.е. общая ошибка, которую необходимо минимизировать в процессе обучения сети имеет вид:

$$Q = \frac{1}{PM} \sum_{l=1}^M Q^p = \frac{1}{PM} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^M Q_l^p = \frac{1}{PM} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^M (d_l^p - v_l^p)^2, p = 1, 2, \dots, P \quad (5)$$

В процессе обучения нейронной сети с целью минимизации выше представленной ошибки производится целенаправленное изменение значений весов межслойных синаптических связей. Этот процесс повторяется итеративно до момента, пока сеть не приобретёт необходимые свойства.

Алгоритм обучения нейронной сети.

- Шаг1. Основываясь на опыте многих исследований, связанных с обучением многослойного персептрона при помощи метода обратного распространения ошибок, представленных в работах [5 - 7], в данной работе предлагается первоначальные значения синаптических весов $W_{ij}(0), W_{ij}'(0)$ задавать случайным образом как различные маленькие величины, принадлежащие до интервала $[-1, 1]$. Кроме этого необходимо также определить начальное значение величин параметров η и α .

От параметра η зависит величина изменений синаптических весов. В настоящей работе исследовались при $\eta=0,3$; $\alpha=0,7$, а также $\eta=0,4$; $\alpha=0,6$; $t=0$; $I=0$;

- Шаг 2. $Iter = Iter + 1$; $p = 0$;
- Шаг 3. $p = p + 1$; Прямой проход. Производим расчёт фактического выхода:

$$Y_j^p = f\left(\sum_{i=1}^N W_{ij}(t) x_i^p\right), j=1,2,\dots,N;$$

$$Y_l^p = f\left(\sum_{j=0}^N W_{lj}(t) Y_j^p\right), l=1,2,\dots,M. (6)$$

После чего выполняется обратный проход и производится адаптация синаптических весов и порогов. Значения для синаптических весов выходного слоя рассчитываем согласно следующей записи:

$$W_{ij}'(t+1) = W_{ij}'(t) + \eta(d_i^p - v_i^p)v_i^p(1 - v_i^p)Y_j^p + \alpha[W_{ij}'(t) - W_{ij}'(t-1)], \text{ где } \eta = 2\eta_0(7)$$

А синаптические веса для дополнительного, скрытого слоя рассчитываем следующим образом:

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta l \sum_{l=1}^{M-1} (d_l^p - v_l^p)v_l^p(1 - v_l^p)W_{jl}'(t)Y_j^p(1 - Y_j^p)x_i^p + \alpha[W_{ij}(t) - W_{ij}(t-1)]. (8)$$

Эти рекурсивные расчёты выполняются до момента, пока не будут произведены все расчёты для всех наборов тренировочных данных, т.е. пока $p < P$. В противном случае рассчитывается ошибка $Q(Iter)$ согласно с (5), которая является основным критерием оценки качества процесса обучения нейронной сети. Можно также рассчитать дополнительные оценки, которые являются как бы помощью в определении соответствующего количества итерации в алгоритме обучения сети и мерой „устойчивости“ (стабилизации) синаптических весов в отдельных слоях сети в процессе её обучения:

$$\Delta W = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |\Delta W_{ij}^p| = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |W_{ij}(t+1) - W_{ij}(t)| (9)$$

$$\Delta W' = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^M \sum_{j=1}^N |\Delta W_{lj}^p| = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^M \sum_{j=1}^N |W_{lj}(t+1) - W_{lj}(t)| (10)$$

Как известно, выше представленный алгоритм обучения сети не гарантирует достижения глобального минимума оценки качества (ошибки) [5 - 7]. Однако, в исследованиях при решении многих практических задач, выполняя расчёты для различных значений параметров (η , α и количество нейронов в скрытом слое – N_j), после чего выбирая оптимальный вариант, удаётся получить очень точную аппроксимацию тренировочных данных в процессе обучения. Поэтому, можно сделать вывод, что при решении многих практических задач достижение глобального минимума оценки качества не является необходимым и очень важным условием, чтобы получить удовлетворяющие результаты.

2. Нейронные системы нечёткого вывода

Нейронной системой нечёткого вывода или нечётко - нейронной системой называется многослойная структура, в состав которой входят следующие элементы:

- Система нечёткого вывода, на вход которой подаются лингвистические переменные (термы). В состав каждой нечеткой системы выводов входят следующие элементы [8]: блок введения нечеткости (fuzzification), база правил, содержащая

совокупность нечетких правил, механизм выводов и блок приведения к четкости (defuzzification).

- Нечёткая система обучается оптимизационными методами, которые обычно используются для обучения нейронных сетей: модифицированным методом обратного распространения ошибок (Back - propagation) или гибридным методом, основанном на генетическом алгоритме.

- В выходном слое нечётко - нейронной системы может использоваться нейронная сеть для выполнения операции приведения к чёткости или выполнения классификации выходных нечётких данных.

Рассмотрим нечётко - нейронную систему, структура которой представлена на рисунке 2. Механизм нечетких выводов рассматриваемой системы использует базу знаний в виде совокупности $R^{(k)}$, $(k=1,2,\dots,N)$ нечетких предикатных правил вида:

$$R^{(k)} : IF x_1 is A_1^k and x_2 is A_2^k and \dots and x_n is A_n^k THEN (y is B^k), \quad (11)$$

в которых N - означает число нечётких правил, x_1, x_2, \dots, x_n, y - лингвистические переменные, причём $(x_1, x_2, \dots, x_n)^T = x$, $x \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, y - соответственно выходная переменная, $y \in Y$; A_i^k - нечёткие множества предпосылок правил $(i=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots, N)$, такие, что $A_i^k \subseteq X_i \subset R (i=1,2,\dots,n)$, и B^k - нечёткое множество заключений, такое, что $B^k \subseteq Y \subset R$, где R является множеством натуральных чисел.

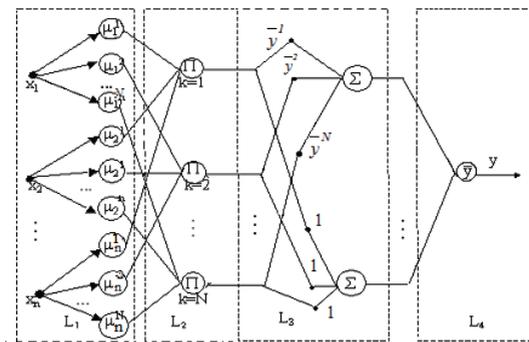


Рисунок 2 – Структура нейронной системы нечёткого вывода (на основе [9]).

Символами X_i и Y обозначаем пространства изменений входных и соответственно выходной переменных. Обозначим также $A^k = A_1^k \times A_2^k \times \dots \times A_n^k$. Знания эксперта, содержащиеся в (11), отражают нечёткое отношение предпосылки и заключения. Поэтому его можем записать как нечёткую импликацию: $R^{(k)} : A^k \rightarrow B^k$, $k=1,2,\dots,N$ и представить как нечёткое отношение, определённое на множестве $X \times Y$, т.е. $R^{(k)} \subseteq X \times Y$ является нечётким множеством с функцией принадлежности следующего вида:

$$\mu_{R^{(k)}}(x, y) = \mu_{A^{(k)} \rightarrow B^{(k)}}(x, y). \quad (12)$$

Согласно с определением нечеткого правила „modus - ponens” [10], функцию принадлежности нечёткого множества заключения \overline{B}^k (нечеткого вывода) определяем по формуле:

$$\mu_{\overline{B}^k}(y) = \sup_{x \in X} \left\{ \mu_{A'}(x)^T * \mu_{A^k \rightarrow B^k}(x, y) \right\}, \quad (13)$$

где A' - нечеткое множество, поданное на вход системы нечеткого вывода.

При этом, если T – норма определяется как операция произведения, тогда (13) примет такой вид:

$$\mu_{\overline{B}^k}(y) = \sup_{x \in X} \left\{ \mu_{A'}(x) \cdot \mu_{A \rightarrow B}(x, y) \right\} = \sup_{x \in X} \left\{ \mu_{A'}(x) \cdot \mu_{A^k}(x) \mu_{B^k}(y) \right\}. \quad (14)$$

Учитывая принятое обозначение после преобразований, можем записать:

$$\mu_{\overline{B}^k}(y) = \sup_{x_1, \dots, x_n \in X} \left\{ \mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x_i) \mu_{A_i^k}(x_i) \right\}. \quad (15)$$

В рассматриваемой нечётко - нейронной системе выполняется операция введения нечёткости (Fuzzification) типа синглетон (singleton) [10], что означает, что определение функции принадлежности нечёткого множества $A' \subseteq X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ на входе системы нечёткого вывода выполняется по следующей формуле:

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 & \text{если } x = x^* \\ 0 & \text{если } x \neq x^* \end{cases}, \quad (16)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in X$, - лингвистические переменные,

а $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$ - конкретное значение входных переменных нечёткой системы вывода. Тогда в выражении (15) максимальное значение можно получить только для $\mu_{A'}(x) = 1$ и зависимость (15) примет вид:

$$\mu_{\overline{B}^k}(y) = \mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i^*). \quad (17)$$

В выше представленной системе элементы в слое L1 определяют функции принадлежности (обозначенные μ_i^k) нечётких множеств A_i^k , $i=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, N$, где n - количество входов в системе, а N – количество нечётких правил, а выходы этих элементов представляют собой функции принадлежности $\mu_{A_i^k}(x)$, для конкретных значений x_i , поданных на i - й вход. Поэтому количество элементов в L1 рассчитываем, как $(n \times N)$. В виде функции принадлежности в данных исследованиях использовались функции вида гауссова, определяемые по формуле:

$$\mu_{A_i^k} = \exp \left[- \left(\frac{x - \overline{X}_i^k}{\sigma_i^k} \right)^2 \right]. \quad (18)$$

или треугольного вида по формуле:

$$\mu_{A_i^k} = \begin{cases} 1 - 2|x_i - z_i^k| / q_i^k & \text{для } |x_i - z_i^k| \leq q_i^k / 2 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}. \quad (19)$$

В нечёткой нейронной системе элементы второго слоя $L2$ (обозначенные П) реализуют умножение значений функций принадлежности $\mu_{A_i^k}(x)$ согласно с методом нечёткого вывода Larsena [10] для $x_i = x_i^*$, $i = 1, 2, \dots, n$. На выходах элементов второго слоя получаем уровни активности каждого нечёткого правила $R^{(k)}$ в системе, которые вычисляются следующим образом:

$$\tau_k = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i^*). \quad (20)$$

Количество элементов в этом слое равно количеству нечётких правил N . В слоях $L3$ и $L4$ выполняется операция приведения к чёткости (defuzzification) по методу Среднего центра (Center average) [10]. Если определяем значение выхода нечёткой системы по формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^{N-k} y \mu_{B^k}(\bar{y}^k)}{\sum_{k=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k)}, \quad (21)$$

где \bar{y}^k - является центром нечёткого множества B^k , т.е. точкой, в которой функция принадлежности $\mu_{B^k}(y)$ принимает максимальное значение:

$$\mu_{B^k}(\bar{y}^k) = \max_y \{ \mu_{B^k}(y) \}. \quad (22)$$

Подставляя в выражение (21) выражение (17), получим следующее равенство для расчёта выхода нечёткой нейронной системы:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}^k \left(\mu_{B^k}(\bar{y}^k) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i^*) \right)}{\sum_{k=1}^N \left(\mu_{B^k} \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i^*) \right)}. \quad (23)$$

Учитывая факт, что максимальным значением функции принадлежности $\mu_{B^k}(y)=1$, выражение (23) можем записать таким образом:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}^k \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i^*) \right)}{\sum_{k=1}^N \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i^*) \right)}. \quad (24)$$

Веса соединений к верхнему узлу слоя $L3$, обозначенные \bar{y}^k интерпретируются как центры функций принадлежности нечётких множеств B^k . Эти веса будут модифицироваться в процессе обучения нечётко - нейронной системы. Метод настройки параметров и обучения рассматриваемой системы представим ниже.

В слое $L3$ выполняется операция суммирования числителя и знаменателя дроби в выражении (24). Далее в слое $L4$ рассчитывается четкое значение, получаемое на выходе системы \bar{y} .

Следует отметить, что в ситуациях, когда нет необходимости получения на выходе системы чёткого значения выходной (или выходных переменных) в двух последних слоях

L3 и L4 необходимо ввести следующие изменения. Поскольку на выходе системы нечёткого вывода необходимо получить нечёткое заключение, запишем общую формулу для функции принадлежности нечёткого множества на выходе системы следующим образом:

$$\mu_{B^k}(y) = \sum_{k=1}^N w_k \tau_k \mu_{B^k}(y). \quad (25)$$

Принимая значения весов $w_k = \frac{1}{\int_Y \mu_{B^k}(y) dy}$, получим упрощенную систему нечёткого

вывода, в которой значения выходов системы зависят только от уровней активности нечётких правил и от значений их заключений. Тогда, учитывая принятое обозначение уровней активности нечётких правил (20) и применяя метод центра тяжести области, выход системы можем рассчитать по следующей формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \tau_k \int_Y \mu_{B^k}(y) dy}{\sum_{k=1}^N \tau_k \int_Y \mu_{B^k}(y) dy}. \quad (26)$$

где \bar{y}^k - является центром нечёткого множества B^k , τ_k - уровни активности нечётких правил.

Если используем функцию принадлежности Гауссова вида, определяемые по формуле (18), можем рассчитать:

$$\int_Y \mu_{B^k}(y) dy = \sigma^k \sqrt{\pi}. \quad (27)$$

Подставляя полученное выражение в (26), получим:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \tau_k \cdot \sigma^k}{\sum_{k=1}^N \tau_k \sigma^k}. \quad (28)$$

Структура нейронной системы нечёткого вывода, определяющая на выходе системы нечёткую величину, т.е. заключение системы вывода является нечётким, представлена на рис. 3. В структуре такой многослойной нейронной системы нечёткого вывода в слое L3 изменяются весовые коэффициенты (по сравнению с показанной на рис. 2).

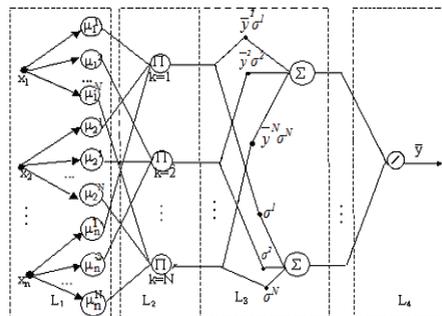


Рисунок 3 – Структура нейронной системы нечёткого вывода с нечётким выходом.

Таким образом, представленная на рис. 2 и 3 нечётко - нейронная система является с одной стороны многослойной сетью, в то же время системой, основанной на идеи нечёткого логического вывода, позволяющая качественную интерпретацию всех составляющих её элементов.

2.1 Обучение нейронной системы нечёткого вывода.

В выше представленной нейронной системе нечёткого вывода выбор соответствующего вида функций принадлежности выполняется обычно на основе решения эксперта. Однако значения параметров этих функций можно определить при помощи известных методов оптимизации. Поскольку рассматриваемая система представляет собой многослойную структуру, подобную нейронным сетям, можно использовать для настройки значений её параметров один из известных оптимизационных методов, используемых для обучения нейронных сетей.

Рассмотрим применение алгоритма обратного распространения ошибок для оптимального подбора параметров нечёткой нейронной системы и таким образом, обучения этой системы. Допустим, имеем обучающее множество в виде пар (\bar{x}, d) , где $\bar{x} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n]^T$ - является входным вектором, а d - заданное желаемое значение. Необходимо так модифицировать параметры функций принадлежности системы, описанной выше уравнениями (12 - 20), чтобы ошибка, рассчитываемая по формуле была минимальной:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} [y(\bar{x}) - d]^2. \quad (29)$$

Полагаем, что число правил известно и равно N . Значение выходной переменной \bar{y} определяем по формуле (24). Согласно с алгоритмом обратного распространения ошибок значение параметра \bar{y}^m функции принадлежности $\mu_{B^k}(y)$, можно записать следующей рекуррентной зависимостью:

$$\bar{y}^m(t+1) = \bar{y}^m(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial \bar{y}^m(t)}. \quad (30)$$

где t - означает шаг алгоритма, при этом $t = 0, 1, 2, \dots$, η - является коэффициентом скорости обучения, $\eta \in (0, 1)$. Задаём начальное значение $\bar{y}^m(0)$.

Выражение (30) запишем следующим образом:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}^{-k} z^{-k}}{\sum_{k=1}^N z^{-k}} = \frac{a}{b}, \text{ где } z^{-k} = \prod_{i=1}^n \exp \left[- \left(\frac{x_i^{-k} - x_i}{\sigma_i^k} \right)^2 \right]. \quad (31)$$

Следует отметить, что значение \bar{y} , а в связи с чем и величина ошибки зависит от значения \bar{y}^m только в числителе дроби (т.е. величина а).

В соответствии с правилом дифференцирования сложной функции можем рассчитать производную по формуле:

$$\frac{\partial e}{\partial \bar{y}^m} = (\bar{y} - d) \frac{\partial \bar{y}}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial \bar{y}^m} = (\bar{y} - d) \frac{1}{b} z^{-m}. \quad (32)$$

Подставляя значение производной (32) в выражение (30) получим рекуррентную зависимость, которая позволит определить значения параметров \bar{y}^m , выполняя их корректировку:

$$\bar{y}^m(t+1) = \bar{y}^m(t) - \eta \frac{(\bar{y}-d) \prod_{i=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^m}{\sigma_i^m} \right)^2 \right]}{\sum_{k=1}^N \prod_{i=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^m} \right)^2 \right]} \quad \text{для } t=1, 2, \dots, \quad (33)$$

Если функции принадлежности - Гауссовы, то аналогично можем определить остальные параметры функций принадлежности: \bar{x}_i^m и σ_i^m . При этом \bar{x}_i^m и σ_i^m рассчитываем согласно следующими зависимостями соответственно:

$$\bar{x}_i^m(t+1) = \bar{x}_i^m(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial \bar{x}_i^m(t)} \quad \text{и} \quad \sigma_i^m(t+1) = \sigma_i^m(t) - \eta \frac{\partial e(t)}{\partial \sigma_i^m(t)}. \quad (34)$$

В соответствии с правилом дифференцирования сложной функции можем рассчитать производную по формуле:

$$\frac{\partial e(t)}{\partial \bar{x}_i^m(t)} = (\bar{y} - d) \frac{\partial \bar{y}}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial \bar{x}_i^m} = (\bar{y} - \bar{y}) \frac{\bar{y} - d}{b} \frac{z}{z} \frac{2(\bar{x}_i - \bar{x}_i^m)}{(\sigma_i^m)^2}. \quad (35)$$

Подставляя значение производной (35) в выражение (34), получим алгоритм настройки значений параметра \bar{x}_i^m :

$$\bar{x}_i^m(t+1) = \bar{x}_i^m(t) - \eta \frac{\bar{y} - d}{b} (\bar{y} - \bar{y}) \frac{z}{z} \frac{2(\bar{x}_i - \bar{x}_i^m)}{(\sigma_i^m)^2} \quad (36)$$

Подставим в выражение (36) значения величин b и \bar{z}^m , которые определены формулами (31), в результате получим следующие зависимости для обучения параметра \bar{x}_i^m :

$$\bar{x}_i^m(t+1) = \bar{x}_i^m(t) - 2\eta \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_i^m)(\bar{y} - \bar{y})}{(\sigma_i^m)^2} (\bar{y} - d) \frac{\prod_{p=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_p - \bar{x}_p^m}{\sigma_p^m} \right)^2 \right]}{\sum_{k=1}^N \prod_{p=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_p - \bar{x}_p^k}{\sigma_p^m} \right)^2 \right]} \quad (37)$$

Выполняя аналогичные рассуждения и расчёты, сможем записать процедуру обучения параметра σ_i^m в виде зависимостей:

$$\sigma_i^m(t+1) = \sigma_i^m(t) - 2\eta \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_i^m)^2 (\bar{y} - \bar{y}) (\bar{y} - d)}{(\sigma_i^m)^3} \frac{\prod_{p=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_p - \bar{x}_p^m}{\sigma_p^m} \right)^2 \right]}{\sum_{k=1}^N \prod_{p=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_p - \bar{x}_p^k}{\sigma_p^m} \right)^2 \right]} \quad (38)$$

Таким образом, полученные зависимости определяют способ оптимальной настройки параметров нейронной системы нечёткого вывода, используя алгоритм обратного распространения ошибок. Следует отметить, что операция приведения к чёткости в выше представленных нейронных системах нечёткого вывода выполняется только в случаях необходимости получения на выходе системы чётких значений.

3. Обучение нечётких нейронных систем при помощи генетического алгоритма

Как известно, выше представленный алгоритм обучения нечётких нейронных систем, основанный на алгоритме backpropagation не гарантирует достижения глобального экстремума оценки качества (ошибки) [6 - 7]. Поскольку ошибка, используемая для оценки качества нечёткой нейронной системы, является многоэкстремальной функцией параметров сети, для поиска её глобального минимума требуется глобальный метод оптимизации. В исследованиях предлагается гибридный подход, применяющий генетический алгоритм для нахождения решений близких глобальному оптимуму, которые потом используются как начальная точка для алгоритма обратного распространения ошибок, в результате работы которого находится действительный глобальный экстремум.

Обучение нечёткой нейронной сети при помощи генетического алгоритма можно описать следующей процедурой:

1. Закодировать в виде хромосом соответствующие параметры функций принадлежности и синаптические веса нейронов, т.е. параметры \bar{x}_i^k , $\mu_{A_i^k}$, (если используется функция принадлежности вида Гаусса кодируем параметр $\bar{\sigma}_i^k$), \bar{y} и w_{rk} .

2. Генерация начальной популяции.

3. Определяем функцию приспособленности, предназначенную для оценки хромосом следующим образом:

$$Fitness = \sqrt{\sum_{t=1}^m (\bar{y}(t) - d(t))^2}. \quad (39)$$

4. Выбираем родителей для скрещивания. При выборе родителей используется вероятностный механизм. Затем осуществляется скрещивание выбранных пар.

5. Выполняется селекция и формируется генотип потомка. Производится над генотипами выбранных родителей кроссовер. После чего последовательно применяется к выбранному потомку оператор инверсии, а затем – мутации.

6. Определяется приспособленность потомка, а затем средняя приспособленность популяции – Fitness.

7. Используя полученное решение как первоначальную точку поиска, применяем модифицированный алгоритм backpropagation, что позволяет быстро найти глобальный экстремум.

Как показали исследования, представленный гибридный алгоритм обучения нечёткой нейронной системы ликвидирует недостатки алгоритма обратного распространения ошибок, связанный с попаданиями в локальный минимум и гарантирует нахождение более эффективного решения, чем любой алгоритм, основанный на backpropagation.

4. Результаты тестирования нейронных систем нечеткого вывода.

Разработка и тестирование нейронных систем нечеткого вывода выполнены с использованием программного пакета NeuroSolutions фирмы NeuroDimension, Inc. [11]. Для выполнения тестов и анализа работы разрабатываемых интеллектуальных систем решалась

задача классификации с использованием множества данных, содержащих информации о трех типах цветов ириса (*Kosaćca*: *Iris Versicolor*, *Iris Virginica* i *Iris Setosa*). Это множество данных является классическим примером решения задач классификации, используемым во многих научных публикациях.

Выполнялась оценка структур нейронных систем нечеткого вывода, описанных в первой колонке таблицы 1.

В таблице 1. представлены результаты тестирования структур интеллектуальных систем при решении задачи классификации, отмечающих количество правильных классификаций в процентном отношении.

Таблица 1 – Результаты обучения нейронной системы нечёткого вывода

Структура	Количество правил	Оценка классификации (%)
S1: Вывод по методу Ларсена, функции принадлежности вида Гаусса, алгоритм приведения к четкости - центроидный (CA).	3	68,72 %
	5	84,16 %
	10	94,52 %
S2: вывод по методу Мамдани, функции принадлежности – треугольного вида, алгоритм приведения к четкости - центроидный (CA).	3	72,33 %
	5	89,14 %
	10	96,43 %
S3: вывод по методу Заде, функции принадлежности - вида Гаусса, приведение к четкости выполняется с использованием нейронной сети.	3	89,77 %
	5	92,56 %
	10	98,97 %
S4: вывод по методу Yager'a. Функции принадлежности вида Гаусса. Приведение к четкости с использованием нейронной сети	3	67,57 %
	5	91,88 %
	10	98,78 %

Обучение систем выполнялось с использованием следующих алгоритмов:

- алгоритма обратного распространения ошибок [6 - 8];
- разработанного гибридного алгоритма, основанного на совместном использовании генетического алгоритма и алгоритма обратного распространения ошибок.

На рисунках 4 и 5 представлены результаты обучения тестируемых нейронных систем нечеткого вывода. На рисунках принято следующее обозначение:

- S1 – S4 – структура тестируемой нейронной системы нечеткого вывода, соответственно описанию представленной в таблице 1;
- Еггог – среднеквадратичная ошибка, определяемая при оценке обучения.

Как видно на рис. 4, быстрее других систем обучалась нечётко - нейронная система S4 с нечётким выводом по методу Yager'a, с Гауссовыми функциями принадлежности и приведением к чёткости с использованием нейронной сети. Медленнее всех обучалась

система с нечётким выводом по методу Мамдани. Однако очень большой разницы в полученных результатах обучения не было.

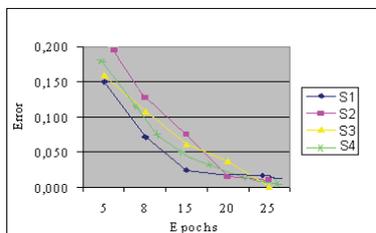


Рисунок 4 – Результаты обучения всех структур тестируемых нейронных систем с использованием алгоритма обратного распространения ошибок.

На рис. 5 показана сравнительная оценка двух методов обучения систем каждой тестируемой структуры.

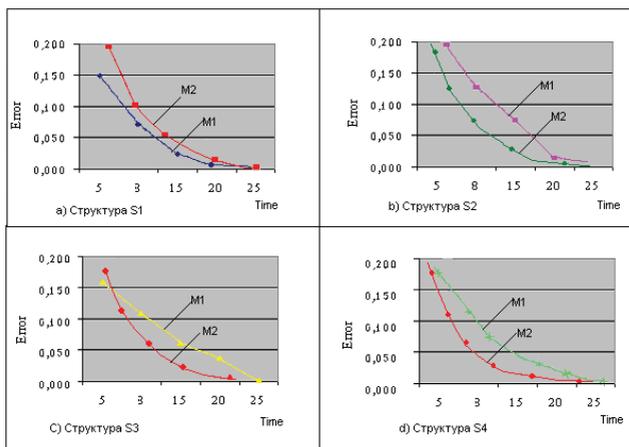


Рисунок 5 – Сравнительная оценка методов обучения нейронных систем нечеткого вывода:

M1 - алгоритм обратного распространения ошибок, M2 - разработанный гибридный алгоритм.

Как видно на рисунке 5, предлагаемый гибридный алгоритм обучения нейронных систем нечеткого вывода быстрее работает и дает более эффективное решение, чем алгоритм, основанный на backpropagation для всех тестируемых структур.

Выводы

В работе представлены основы построения обучающихся систем поддержки принятия решений в нечёткой среде, т.е. гибридных интеллектуальных систем.

1. Развиг существующий подход к построению нечётких нейронных систем, основанный на интеграции технологий искусственного интеллекта: нейронных сетей, теории нечётких множеств и логики, а также генетических алгоритмов, позволяющий

использовать для оптимального подбора значений параметров системы известные процедуры и методы оптимизации, используемые обычно для обучения искусственных нейронных сетей.

2. Представлен подход к разработке гибридных интеллектуальных систем, отличающихся методом логического вывода, способами введения нечёткости и определения функций принадлежности. Разработанные согласно с предложенным подходом гибридные интеллектуальные системы отличаются интеллектуальными свойствами: способностью использовать знания на естественном языке, а также способностью обучаться и адаптироваться к изменяющимся условиям их функционирования.

3. Предложен гибридный алгоритм обучения нейронных систем нечёткого вывода, основанный на идее генетического алгоритма. Разработка алгоритма обучения интеллектуальной СППР позволяет создавать интеллектуальные системы поддержки управленческих решений, способные к адаптации при изменении внутренних условий или окружающей среды, а также к совершенствованию своих действий на основе приобретенного опыта и знаний.

Список использованной литературы:

1. Buckley J.J. Fuzzy neural networks: A survey / J.J. Buckley, Y. Hayashi // Fuzzy Sets and Systems.– vol.66.–1994.– P.1 - 13.

2. Horikawa S. A study on fuzzy modeling using fuzzy neural networks / Horikawa S., Furuhashi T., Uchikawa Y., Tagawa T. // IFES.–1991.– P.562 - 573.

3. Setlak G. Fuzzy Neural Networks in Intelligent Manufacturing Systems // Proc. of the International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Copyright Clearance Center IEEE, Piscataway (USA), Ternopil (Ukraine), Foros.– 2001.– P.203 - 206.

4. Setlak G. Fuzzy - Neuro System for Decision - making in Management // System Research and Information Technologies.– Kiev: IASA National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science Ukraine.–2003.–№1.–P.72 - 81.

5. Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории / А.И. Галушкин. – Горячая Линия - Телеком, 2012. – 496 с.

6. Mohamad Hassoun Fundamentals of Artificial Neural Networks / Mohamad Hassoun. – A Bradford Book, 2003. – 511 p.

7. Graupe D. Principles of Artificial Neural Networks: 3rd Edition (Advanced Series in Circuits & Systems) (Advanced Series in Circuits and Systems) / D. Graupe. – World Scientific Publishing Company, 2013. – 500 p.

8. Jang J. S.R. Neuro - Fuzzy and Soft Computing. / S.R. Jang J., C.T. Sun, E. Mizutani. – Upper Saddle River: Prentice - Hall.– 1997.– 245 p.

9. Rutkowska D. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. / D.Rutkowska, M.Pilinski, L. Rutkowski. –Warszawa: PWN.– 1997.– S.411.

10. Герасимов Б.М. Нечёткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. / Б.М. Герасимов, Г.Г.Грабовский, Н.А. Рюмшин. —Киев: Техника.—2002.—140 с.

УДК 62

Келбиханов Р.К.,

к.ф. - м.н., доцент кафедры общей,
экспериментальной физики
и методики ее преподавания ДГПУ;
доцент кафедры естественнонаучных дисциплин ДГУНХ
г. Махачкала, Российская Федерация

КВАЗИЗАМКНУТЫЙ МЕТОД ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРА

Аннотация. Проведенные эксперименты позволили установить два оптимальных режима выращивания монокристаллических слоев теллура методом квазизамкнутого объема. Дифракционные исследования показали, что пленки теллура, получаемые при малых скоростях осаждения, обладают более совершенной структурой, чем пленки, полученные при больших скоростях роста. Для данных образцов установлено существование некоторой критической температуры источника ($T_{и} = 633$ К), выше которой наблюдается торможение формирования пластинчатых кристалликов и резкое усиление роста игольчатых кристалликов по нормали к поверхности подложки.

Ключевые слова: пленки теллура, квазизамкнутый метод, температура источника, температура подложки, электронограмма, микродифракция, монокристаллические слои.

Введение

По материалам исследований полупроводникового теллура имеется достаточное количество публикаций, посвященных изучению структуры и электрофизических свойств [16 - 20,22,26,31,71,73,77,78,81 - 84,88,90 - 93,96,97], особенностей свойств [3,5,32 - 58,62,63], термо - эдс пленок [38,48,50,62], эффекта поля в конденсированных пленках [17,41,42,44,46,58,96], особенностей диэлектрических свойств тонкопленочных структур на основе Те и других материалов [43,51,59 - 61,63]. В частности, имеются работы, в которых рассмотрены такие вопросы, как влияние эффекта отжига на свойства пленок Те [88,92,94]; возможности создания приборов (транзисторов) на основе теллура [84,86,98,99,100] и пленочных термопреобразователей измерительного назначения [21]; установление механизмов роста нитевидных кристаллов Те [25,29]; свойства магнитной восприимчивости и гальваномагнитного эффекта, а также гальваномагнитного эффекта при низких

температурах [83,97]. Наряду с этим имеются данные по изучению структуры фаз системы Ni - Te в тонких слоях [30] и некоторых особенностей электрических свойств пленок теллура с примесью селена, меди [78,89]. Имеются также работы по изучению влияния примеси селена, серы, сурьмы и других химических элементов на свойства объемного кристаллического теллура [9,13,66 - 70] и различных электрических и физических свойств [7, 8, 10 - 12, 14,15,23,24,27,28,65,72,74 - 76,85].

С целью устранения некоторых недостатков в конструктивном оформлении метода квазизамкнутого объема, для изыскания возможности контроля времени осаждения с точной фиксацией начала и конца эксперимента, а также ликвидации переходного процесса (при установлении режима осаждения), была разработана прецизионная конструкция реактора и соответствующая ей технология, позволившая более эффективно регулировать параметры процесса осаждения. Установка обеспечивала воспроизводимость технологических условий процесса выращивания. Особенность конструкции состоит в использовании микрообъема реактора, в котором осуществляется выращивание пленок в стерильных условиях. На данной установке были получены монокристаллические пленки теллура квазизамкнутым методом при использовании диафрагм с отверстиями разного диаметра.

1. Морфологические особенности роста пленок теллура

Имеющиеся литературные данные не позволяют предложить какой - либо механизм роста пленок теллура из - за высокой чувствительности их к технологическому режиму осаждения. Поэтому на данном этапе стояла задача - получить пленки при контролируемых процессах их осаждения.

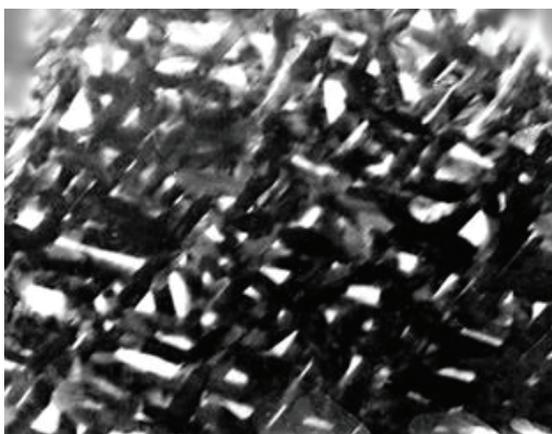
В эксперименте [32] для получения пленок был использован грубоизмельченный порошок теллур высокой чистоты с концентрацией $1,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Подложками служили плоскости скола слюды. Температуру зоны испарения (T_{II}) Te изменяли в пределах 400 - 800 K, а температуру подложки (T_{II}) - 293 - 500 K. Конденсацию пленок проводили в квазизамкнутом объеме по методике [1] при расстоянии от источника до подложки равной 2 мм. Особенность конструкции состоит в использовании микрообъема, изолированного от всего остального объема реактора, в котором осуществляется выращивание пленок в более стерильных условиях. Непосредственно перед началом процесса выращивания после достижения соответствующего вакуума $1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ подложка и источник отжигались при закрытой заслонке. Процесс способствовал очистке вещества источника и поверхности подложки от адсорбированных на их поверхности газов. Отжиг благоприятно сказывался и на стабилизации состава исходного порошка источника. В указанных условиях в квазизамкнутом объеме были проведены эксперименты по получению пленок теллура на подложках слюды. В каждом отдельном случае использовался свежий скол слюды без предварительной обработки. На рис.1, а приведен электронно - микроскопический снимок пленки, полученной при $T_{II} = 500 \text{ K}$ и $T_{II} = 343 \text{ K}$. На начальных стадиях роста образуются примерно одинаковые по размеру игольчатые кристаллики, расположенные беспорядочно относительно друг друга. С дальнейшим ростом образуется поверхность с большим количеством просветов (рис.1, б).

Электроннограмма такой пленки на рис.2. Повышение T_{II} (> 500 K) ухудшало структуру пленки. На электроннограммах наблюдали размытие рефлексов в виде колец в результате укрупнения кристаллитов и их преимущественного роста в определенном направлении.

Значительное увеличение T_{II} способствовало росту исключительно поликристаллической фазы. Подобную закономерность наблюдали и при увеличении T_{II} . В зависимости от режимов осаждения изменялись рельеф и цвет поверхности пленки. Если при $T_{II} = 800$ K поверхность имела бархатно - черный цвет, то уменьшение T_{II} приводило к образованию матовой поверхности.



a)



б)

Рис.1. Особенности роста пленок теллура:
a – образовавшиеся игольчатые кристаллы, X 50 000;
б – образовавшиеся просветы, X 50 000.

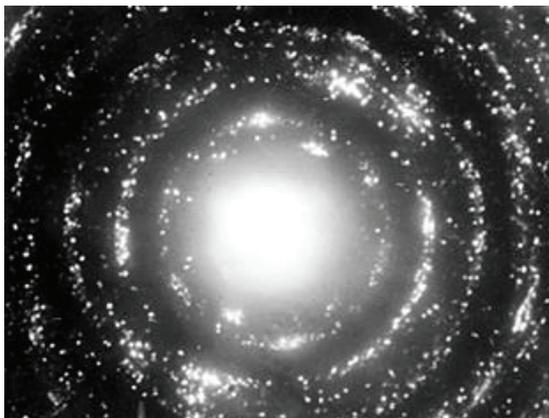


Рис.2. Электронограмма пленки теллура (поверхность черная).

При относительно низких температурах зоны испарения ($T_{II} = 633 \text{ K}$) пленки имели зеркальную гладкую поверхность. Электронно - микроскопические исследования показали, что во всех случаях на поверхности подложки растут игольчатые кристаллы, как наблюдались и в [101], где кристаллы росли параллельно подложке и имели раздвоенные кончики в виде хвоста ласточки. Разница заключается в том, что в зависимости от количества поступающего на поверхность вещества меняется угол ориентации игольчатых кристаллов относительно нормали к поверхности подложки от 0 до 90° . Это видно и при наклоне на некоторый угол бархатно - черной пленки, которая при этом приобретает матовый оттенок.

Таким образом, получить монокристаллические пленки обычным методом оказалось практически невозможным. Монокристаллические пленки (рис.3) удалось получить применением специального приспособления. На пути испарения установили диафрагму с диаметром отверстия $1,5 \text{ мм}$ при расстоянии источник - подложка, равном 2 мм . При этом температура источника становилась некритичной при получении пленок теллура.



Рис.3. Микродифракция электронов от монокристаллической пленки теллура: $T_{II} = 693 \text{ K}$, $T_{II} = 293 \text{ K}$.



Рис.4. Развитие и различные стадии роста пленок теллура:
развитие и разориентация фигур роста,
X 550.

Интересно и то, что игольчатые кристаллы росли и в этом случае (рис.4), что имело это место при T_{II} – от 300 до 340 K. На рис.4, 5, и 6 приведены различные стадии роста игольчатых кристаллов. Обращает на себя внимание факт, что кристаллики ориентированы по нормали к поверхности. Рост пленки происходит в основном за счет развития первоначально образовавшихся усиков, то есть атомы теллура обладают достаточно большой миграционной способностью на поверхности, вследствие чего преимущественно развиваются игольчатые кристаллики. Повышение T_{II} приводило к образованию фигур роста на поверхности подложки (рис.6, а).

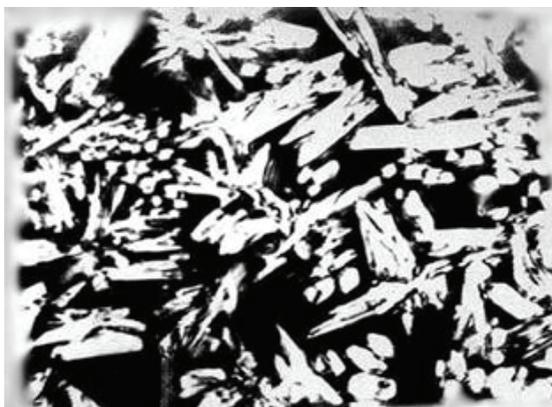


Рис.5. Развитие и различные стадии роста пленок теллура:
рост пластинчатых кристаллов,
X 5000.

Просматривается некоторое остаточное развитие игольчатых кристаллов, нарушающих форму фигур роста. Несмотря на это, фигуры сохраняют предпочтительную ориентацию. Электронограмма такой пленки подобна представленной на рис.2. При этом процесс коалесценции идет с образованием длинных каналов.



а)



б)

Рис.6. Различные стадии роста пленок теллура:
а, б – срастание кристаллов, X 400.

2. Скорость роста и электрофизические свойства пленок теллура

Электронно - микроскопические, оптические и металлографические исследования позволяют утверждать, что пленки теллура, полученные в квазизамкнутом объеме с применением диафрагмы с отверстием $1,5 \text{ мм}$ на пути источник - подложка, состоят из пластинчатых кристалликов. Критические размеры таких кристалликов составляют $10 - 20 \text{ мкм}$. Средний размер отдельного кристаллика является функцией скорости роста, зависящей в свою очередь от величины пересыщения.

При $T_{II} = 633 \text{ K}$ скорость роста равна $4 \text{ \AA} / \text{с}$, с увеличением температуры T_{II} на 40 K скорость роста увеличивается в ~ 8 раз для образцов с зеркальной поверхностью (рис.7). Необходимым условием формирования пленки теллура, состоящей из плоских

кристалликов и обладающей зеркально гладкой поверхностью – монокристаллической структурой, является равенство скорости роста $(0,2 - 2) \text{ \AA}/\text{с}$, что наблюдается при $T_{II} = 633 - 693 \text{ K}$, $T_{II} = 293 \text{ K}$ и расстоянии 2 мм плоскости скола слюды от диафрагмы.

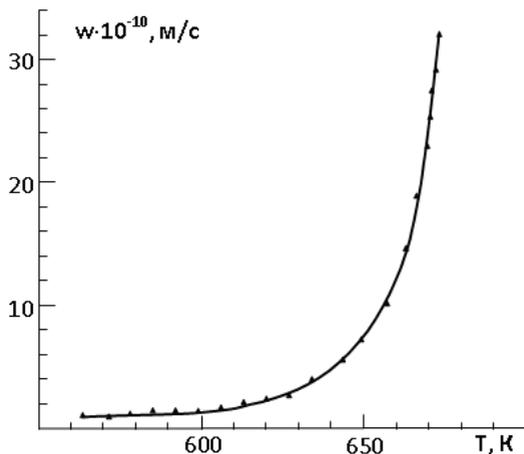


Рис.7. Зависимость скорости роста пленок теллура от температуры источника.

В пленках, полученных в указанных выше условиях, основная ориентация $[2\bar{1}\bar{1}1]$ сопровождается ориентацией $[02\bar{2}1]$. Скорость роста самих кристалликов линейно зависит от пересыщения. Если пересыщение превосходит некоторую критическую величину, которая имеет место при $T_{II}=633\text{K}$, то наблюдается торможение роста пластинчатых кристалликов и увеличение скорости их роста по нормали к поверхности подложки.

Объяснить наблюдаемые закономерности можно при предположении, что на начальном этапе осуществления процесса получения пленок пересыщение максимально у поверхности подложки, поэтому места локализации растущих кристаллитов не связаны между собой какой-либо трансляционной связью (рис.6, а) и растут самостоятельно. Этому же мнения придерживаются авторы работы [2]. Судя по рисункам металлографических исследований, углы срастания кристалликов в пленку имеют различные значения.

Из-за малости температуры подложки ($T_{II} = 293 \text{ K}$) до образования сплошного слоя скорость диффузии адатомов по поверхности подложки незначительна. Первый сплошной слой теллура обладает максимальной концентрацией дефектов упаковки, которые могут выступать в качестве источников носителей заряда.

На первом сплошном слое теллура растущие кристаллики следующего слоя менее разориентированы из-за увеличения температуры пленки. Повышение ее связано с выделением теплоты конденсации газообразного теллура и незначительности теплопроводности его предыдущего слоя ($\chi = 0,015 \text{ кал}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$), да и подложки (слюды). Такого характера тепловые эффекты не могут быть зарегистрированы термопарой при скоростях конденсации вещества порядка несколько сот ангстрем в секунду, но они реально существуют.

Таким образом, по мере увеличения толщины пленки ее структура совершенствуется (поликристаллическая, текстурно - мозаичная, монокристаллическая).

Из указанных выше представлений о росте пленок теллура, обладающих зеркально гладкой поверхностью, следует ожидать, что по мере увеличения их толщины (d) концентрация (n) носителей заряда будет уменьшаться, а их подвижность (μ) будет увеличиваться. Реальность данного утверждения подтверждается результатами наших экспериментальных исследований, представленными на рис.8 и 9.

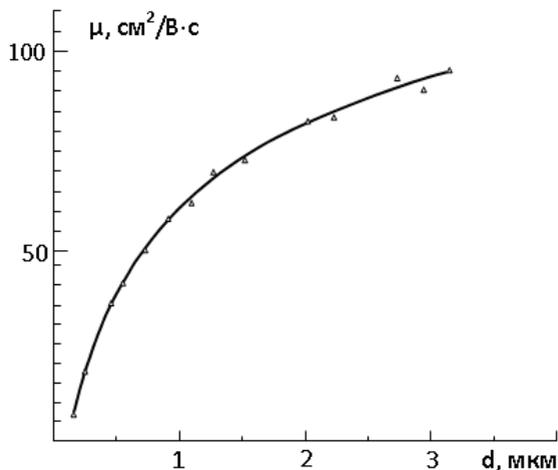


Рис.8. Зависимость подвижности носителей заряда от толщины пленки теллура.

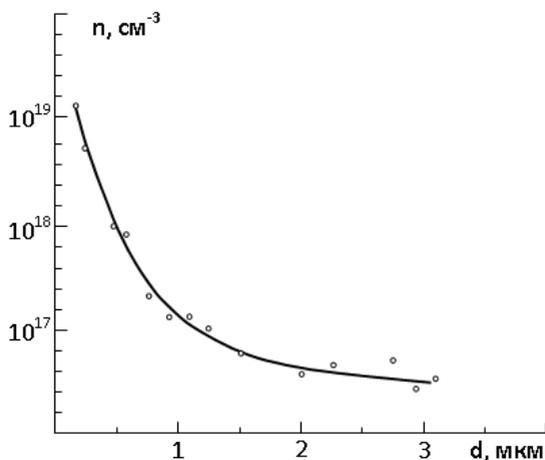


Рис.9. Зависимость концентрации носителей заряда от толщины пленки теллура.

Ясно, что зависимость удельного сопротивления (ρ) от толщины пленки является следствием зависимостей n от d и μ от d . Нами были получены пленки Te , удельное сопротивление которых изменялось от $9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ до $5,83 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Минимальное значение концентрации носителей заряда в пленках, полученных в наиболее чистых условиях, равнялось $1,0 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а подвижность в зависимости от температуры осаждения изменялась от 9 до $60 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Таким образом, определяющим для выращивания монокристаллических пленок теллура является, помимо выполнения температурных условий $T_{II} = 633 - 693 \text{ К}$ и $T_{II} = 293 \text{ К}$ и значения скорости роста $(0,2 - 2) \text{ \AA}/\text{с}$, еще и равенство диаметра отверстия $1,5 \text{ мм}$.

3. Электрофизические параметры пленок теллура в процессе хранения на воздухе

Повторные измерения электрофизических свойств пленок теллура были проведены после годовичного хранения их на воздухе при комнатной температуре, при этом были обнаружены существенные изменения их параметров.

В результате измерений установлено: уменьшение удельного сопротивления, концентрации носителей заряда (рис.10) и увеличение их подвижности в 2 и более раза (рис.11). Зависимости подвижности и концентрации носителей заряда этих же пленок от толщины до начала хранения представлены на рис.9 и рис.10. Исходя из преобладающего типа химической связи в самом теллуре и условий хранения его тонких пленок в контакте с воздухом, для удовлетворительного объяснения наблюдаемых в эксперименте явлений приходится предположить, что в начальный момент на поверхности пленок происходит быстрая адсорбция ($\tau \sim 10^{-7} \text{ с}$) таких электроактивных компонентов воздуха, как O_2 , H_2O , CO .

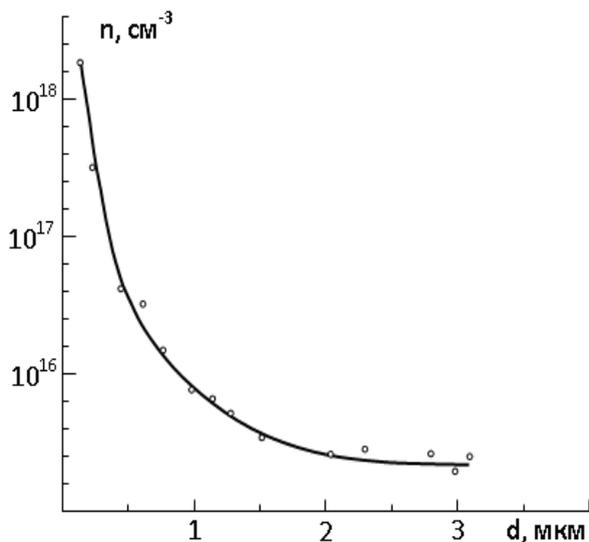


Рис. 10. Зависимость концентрации носителей заряда пленок теллура от толщины после хранения.

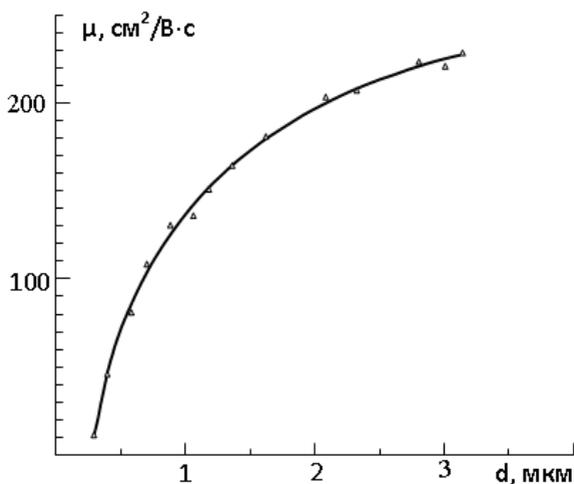
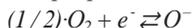


Рис.11. Зависимость подвижности носителей заряда пленок теллура от толщины после хранения.

Поскольку в момент их изъятия из установки не наблюдается существенное изменение характеристик пленок теллура, то такую адсорбцию до образования монослойного покрытия, наблюдаемую при комнатной температуре, необходимо считать физической. Часть физически адсорбированных молекул, например, кислорода, может перейти в хемосорбированное состояние по реакции



за счет энергии активации, полученной молекулой в результате флуктуации температуры в локальных местах (в местах физически адсорбированной молекулы O_2) на поверхности теллура в комнатной атмосфере.

Очевидно, этот эффект будет тем более выражен, чем больше эффективная площадь адсорбции, что действительно подтверждает результаты нашего эксперимента. В условиях длительного хранения (около года) относительное уменьшение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда меньше в пленках с зеркально гладкой поверхностью, чем в пленках черного цвета, состоящих из кристалликов, вытянутых по нормали к поверхности подложки.

Свободные связи на поверхности теллура с преобладающей ковалентной химической связью при комнатной температуре в процессе адсорбции кислорода не может привести к образованию ни TeO , ни TeO_2 , но вызывает существенный поверхностный дипольный момент.

Такая модель адсорбции достаточно хорошо описывает кинетику перехода физически адсорбированных атомов O_2 в хемосорбированное состояние и кинетику изменения параметров пленок теллура по времени хранения. Такие же изменения наблюдали авторы работы [18]. В [81] указано, что процесс адсорбции электроактивных компонентов воздуха на поверхности теллура можно активировать нагревом образца выше $60^\circ C$.

Далее, вакуумированием и последующим нагревом значение удельного сопротивления можно было вернуть к исходной величине. Данный факт указывает на то, что адсорбция O_2 , наблюдаемая при комнатной температуре, на поверхности теллура является обратимой.

4. Оптимальные условия получения пленок теллура совершенной структуры

Для изучения возможности применения квазизамкнутого объема для получения пленок теллура были продолжены эксперименты по изменению расстояния источник - подложка от 2 до 60 мм. При этом с учетом предыдущих экспериментов пленки конденсировались при измененных условиях: температуру источника T_e варьировали в пределах 473 - 873 K, а температуру подложки – 293 - 673 K. Было установлено, что с увеличением T_{II} скорость роста уменьшалась, выше 573 K рост пленки практически прекращался. При скорости роста пленок 140 - 150 Å / с поверхность была черно - матовой, а при 650 Å / с поверхность становилась матовой с характерным металлическим блеском. При этом на электронограммах появлялись слабые линии кристаллической фазы. Получить совершенные пленки удалось применением диафрагмы с отверстием диаметра 1,5 мм на пути источника. При этом пришлось несколько сузить температурные интервалы $T_{II} = 723 - 773 K$, $T_{II} = 293 - 313 K$, а расстояние от источника до подложки увеличить до 25 мм. Величина вакуума в экспериментах $1,33 \cdot 10^{-3} Pa$.

На основании продолженных экспериментов были окончательно определены наиболее оптимальные параметры получения пленок теллура монокристаллической структуры – температурный интервал $T_{II} = 298 - 308 K$, $T_{II} = 743 - 773 K$ в условиях квазизамкнутого объема с применением диафрагмы из кварца на пути источник - подложка с диаметром отверстия 1,5 - 2 мм на подложке из слюды, находящейся от отверстия на расстоянии 25 ± 1 мм.

Исследование пленок серии №1 с помощью электронного микроскопа в режиме дифракции электронов показало, что пленка имеет монокристаллическую структуру, подобную представленной на рис.3. Толщина пленки 15 мкм, скорости роста 6,94 Å / с. Пленки серии № 2 также имели монокристаллическую структуру независимо от того, что на поверхности были видны неровности. Дальнейшее увеличение диаметра отверстия в диафрагме по сравнению с серией эксперимента № 2 привело к ухудшению морфологии поверхности пленки и структурного ее совершенства, а именно структура стала мозаичной. Уменьшение диаметра отверстия в диафрагме приводило к отклонению условий роста пленки в сторону большей неравновесности.

Существенное влияние на структуру пленок оказывает изменение расстояния от диафрагмы с отверстием до подложки (L). Установление подложки на расстояниях $L < 24$ мм и $L > 26$ мм приводит к росту пленок поликристаллической структуры.

Как показали наши эксперименты, оптимальным расстоянием от источника до подложки является $L = 25$ мм. При этом пленки получаются достаточно совершенной структуры. Увеличение температуры источника ($T_{II} > 773 K$) приводит к росту крупных блочных поликристаллических слоев. Снижение температуры источника ($T_{II} < 743 K$) приводит к увеличению продолжительности процесса и появлению на подложке осадений в виде островков.

В дальнейших экспериментах, осуществленных при оптимальных условиях серий опытов 1÷4 и температурах подложки от 293 до 308 K, были получены монокристаллические слои.

Уменьшение температуры подложки ниже 293 K приводило к росту пленок поликристаллической структуры. Увеличение T_{II} выше 308K также сопровождалось формированием поликристаллической структуры. Поверхность пленок, полученных в таких условиях, не являлась зеркальной.

Повышение T_{Π} приводит к уменьшению скорости роста, формированию поликристаллической структуры. Так, пленки, полученные при $T_{\Pi} = 333 - 423 \text{ K}$, имели поликристаллическую структуру. Подобные результаты были получены авторами работы [79], где сообщалось о получении крупнозернистых пленок Te поликристаллической структуры при $T_{\text{и}} = 668 \text{ K}$ и $T_{\Pi} = 410 - 580 \text{ K}$.

Исследование начальных стадий роста показало, что рост пленки начинается с отдельных островков, некоторые из них имеют гексагональную форму (рис.3.). Дальнейший рост приводит к слиянию первоначальных островков роста и образованию сплошной пленки с зеркально отражающей поверхностью.

При использовании в качестве источника недостаточно чистого теллура в области осаждения наблюдается рост игольчатых кристалликов, которые растут по механизму пар - жидкость - кристалл. Так, при больших пересыщениях формируются относительно толстые и короткие иглы, а при малых – тонкие и длинные. Это обусловлено, по - видимому, перераспределением осаждаемого материала между жидкой глобулой и поверхностью кристалла. При малых пересыщениях пара рост кристалла идет в основном через глобулу, находящуюся на вершине игольчатого кристалла, а при больших пересыщениях в паровой фазе имеется достаточное количество материала (теллура), чтобы на гранях кристаллика образовались зародыши роста, способствующие росту кристаллика и в боковом направлении. Начальные игольчатые формы кристалликов теллура на подложке и относительно друг друга расположены беспорядочно. Они имеют примерно одинаковые размеры. Дальнейший их рост приводит к образованию большого количества просветов. Можно сказать, что структура и рельеф поверхности пленок определяется условиями получения: одни обладали зеркальной, другие – матовой поверхностью. При всех условиях получения в образцах обнаруживали игольчатые кристаллы. Разница заключалась в том, что в одном случае пленки росли перпендикулярно поверхности подложки, а в другом – параллельно ей. В первом случае пленки имели черную (рис.2), а во втором – зеркально отражающую поверхность (рис.12).

Обычно у игольчатых кристалликов на вершине преобладает жидкая фаза, которая имеет округлую форму. В нашем случае кристаллики на вершине обладают острой вершиной. Электронномикроскопические исследования пленок теллура показали, что пленки обладают монокристаллической структурой.



Рис.12. Электронограмма от пленки теллура, обладающей зеркально отражающей поверхностью.

Электроннограмма в режиме микродифракции от пленки теллура, которая обладала низким значением подвижности носителей заряда, показала, что пленка по структуре более близка к поликристаллу, чем к текстуре. А дифракция электронов от пленок с большим значением μ носителей заряда свидетельствует о том, что пленки являются монокристаллическими (рис.3).

Таким образом, монокристаллические пленки совершенной структуры с малыми значениями концентрации носителей были получены в квазизамкнутом объеме на ориентирующей подложке, находящейся от диафрагмы с отверстием диаметра $1,5$ мм на расстоянии 25 мм, при температурах $T_{II} = 759-763$ К, $T_{II} = 298 - 303$ К.

Выводы

На основании обобщения результатов экспериментов установлены два оптимальных режима выращивания монокристаллических слоев теллура методом квазизамкнутого объема:

1. для температур источника $T_{II} = 633 \div 693$ К и подложки $T_{II} = 290 \div 310$ К расстояние от подложки до диафрагмы 2 мм;
2. для температур источника $T_{II} = 759 \div 763$ К и подложки $T_{II} = 298 \div 303$ К расстояние от подложки до диафрагмы 25 мм. Диаметр диафрагмы в обоих режимах $1,5$ мм.

Установлено существование некоторой критической температуры источника ($T_{II} = 633$ К), выше которой наблюдается торможение формирования пластинчатых кристалликов и резкое усиление роста игольчатых кристалликов по нормали к поверхности подложки. Дифракционными исследованиями показано, что пленки теллура, получаемые при малых скоростях осаждения, обладают более совершенной структурой, чем пленки, полученные при больших скоростях роста. Сплошная пленка формируется за счет разрастания начальных зародышей. Внешняя форма коалесцирующих фигур зависит от температуры подложки. Повышение T_{II} приводит к росту кристалликов игольчатой формы, их срастание может сопровождаться образованием каналов определенной длины.

Список использованной литературы

1. Абдурагимов Г.А., Качабеков М.М., Курбанов К.Р. Влияние водорода на рост и электрофизические свойства пленок РвТе. // Известия АН СССР. Неорганические Материалы. 1978. Т.17, №8. С.1378 - 1381.
2. Абдурагимов Г.А., Качабеков М.М. Электрические свойства пленок РвТе, выращенных в различных средах. // Известия Высших учебных заведений. Физика. 1984. №2. С.107 - 109.
3. Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А., Келбиханов Р.К., Качабеков М.М. Пленки теллура высокого совершенства. / В сборнике: Естественные науки (физико - технические и математические). Сборник тезисов докладов научной сессии Дагестанского филиала АН СССР, посвященной итогам фундаментальных и прикладных исследований. Дагестанский филиал АН СССР. 1988. С.18.
4. Абдурагимов Г.А., Келбиханов Р.К. Влияние примеси на электрофизические свойства плёнок SnTe и Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te. / Новая наука: Стратегии и векторы развития. 2016. №3 - 2(70). С. 41 - 43.
5. Абдурагимов Г.А., Келбиханов Р.К. Исследование термо - эдс пленок теллура, выращенных в электрических полях. / В сборнике: Фазовые переходы, критические и

нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов Международной конференции. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2009. С.455 - 458.

6.Ахмедова З.А., Качабеков М.М., Келбиханов Р.К. Установка по пробое тонких пленок теллура. / В сборнике: Научные исследования как основа фундаментализации образования. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 1997. Выпуск II. С.161.

7.Абакаров С.А., Амирова Р.А., Багдуев Г.Б., Магдиев А.М. Влияние одноосных деформаций на электрические свойства теллура. // ФТТ. 1974. Т.16, №9. С.2817 - 2818.

8.Абакаров С.А., Амирова Р.А., Багдуев Г.Б. Ориентационная зависимость электрических свойств деформированных и отожженных образцов теллура. // ФТТ. 1978. Т.20, №3. С.649 - 653.

9.Аджимурадов З.А., Банюлис Е.Ю., Идрисова Р.М., Полихрониди Н.Г. Влияние примесей сурьмы на решетку теллура на его свойства. // Известия высших учебных заведений. Физика. 1969. №9. С.127 - 128.

10.Аджимурадов З.А., Багдуев Г.Б. Поглощение на свободных носителях в теллуре при высоких температурах. // ФТП. 1969. Т.3, №9. С.1338 - 1340.

11.Аверкиев Н.С., Пикус Г.Е. Слабая локализация носителей тока на поверхности $[10\bar{1}0]$ теллура. // ФТТ. 1997. Т.39, №9. С.1659 - 1664.

12.Багдуев Г.Б., Банюлис Е.Ю., Иванов Г.А., Полихрониди Н.Г. Электрические свойства поверхностных слоев монокристаллического теллура. // ФТТ. 1971. Т.13, №11. С.3303 - 3305.

13.Багдуев Г.Б., Абакаров С.А. Электрические свойства теллура с примесями йода. // ФТТ. 1966. Т.8, №12. С.2234 - 2237.

14.Багдуев Г.Б., Аридова К.М., Идрисова Р.М., Чернобай В.И. Микротвердость теллура. / В сборнике: Исследование по физике полупроводников и по геофизике. Сборник трудов педагогических вузов Северного Кавказа. Орджоникидзе: ИР, 1968. С.10 - 20.

15.Березовец В.А., Смирнов А.О., Фарбштейн И.И. Обнаружение магнитного пробоя в двумерном слое на поверхности $(10\bar{1}0)$ теллура. // ФТТ. 1988. Т.30, №7. С.2218 - 2221.

16.Бондарчук Н.Ф., Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А. Структура конденсированных пленок теллура и их свойства. // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1989. Т.25, №2. С.189 - 194.

17.Бондарчук Н.Ф., Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А. Эффект поля в конденсированных пленках теллура. // Известия АН Молдавской ССР. Серия физико - технических и математических наук. 1988. №3. С.21 - 25.

18.Бондарчук Н.Ф., Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А. Поверхностные явления и размерные эффекты в конденсированных пленках теллура. // Известия АН Молдавской ССР. Серия физико - технических и математических наук. 1988. №2. С.61 - 63.

19.Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А., Чиботару Н.И. Структура и электрофизические свойства конденсированных пленок теллура. // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1979. Т.15, №1. С.49 - 55.

20.Вигдорович В.Н., Ухлинов Г.А., Чиботару Н.И. О термической ширине запрещенной зоны в тонких пленках теллура. // ФТП. 1978. Т.12, №9. С.1816 - 1820.

21. Вигдорович В.Н., Коледова Т.Н., Ухлинов Г.А. Технология, оборудование, производство и организация. // Электронная техника. 1986. Серия 7. Вып.4.(137). С.69 - 74.
22. Виноградов В.Е., Бойко Б.Т. Влияние состояния поверхности на электропроводность пленок теллура. // ЖФХ. 1973. Т.47, №1. С.206 - 207.
23. Виноградов Е.А., Демишев С.В., Косичкин Ю.В., Поляков Ю.А. Фотомагнитный эффект в теллуре при низких температурах. // ФТП. 1985. Т.19, №6. С.1131 - 1133.
24. Гавалешко Н.П., Горлей П.Н., Шендеровский В.А. Узкозонные полупроводники: Получение и физические свойства. Киев: Наукова думка, 1984. 288с.
25. Гиваргизов Е.И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара. М.: Наука, 1977. 303с.
26. Гончаров В.Д., Мальнев А.Ф., Примаченко И.А. Влияние сегнето - электрической подложки на проводимость пленок теллура. // ФТП. 1969. Т.3, №1. С.102 - 104.
27. Горлей П.Н., Радченко В.С., Шендеровский В.А. Процессы переноса в теллуре. Киев: Наукова думка, 1987. 280с.
28. Горлей П.Н. О температурной зависимости зонных параметров дырок в теллуре. // ФТП. 1988. Т.22, №3. С.504 - 506.
29. Джамбулатов И.Д. Исследование механизмов роста и электрических свойств нитевидных кристаллов теллура: Дис. ... канд. физ. - мат. наук. Ленинград, 1986. 121с.
30. Дворянкина Г.Г., Пинскер З.Г. Исследование структуры фаз системы Ni - Te в тонких слоях. // Кристаллография. 1962. Т.7, №3. С.458 - 461.
31. Иванкин Л.И., Соляник З.В. Влияние электронной бомбардировки на электрические свойства пленок теллура. // ФТТ. 1968. Т.10, №3. С.911 - 913.
32. Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Келбиханов Р.К., Касимов С.Г., Абдурагимов Г.А. Особенности роста и электрофизические свойства пленок теллура. // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1988. Т.24, №5. С.856 - 858.
33. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Ахмедова З.А. Временные характеристики пленок теллура. / В сборнике: Тезисы докладов научной сессии. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПИ. Махачкала, ДГПИ, 1991. С.7.
34. Келбиханов Р.К., Фатуллаева Ф.Б., Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Абдуллаев Т.А. Тангенс угла потерь в слоях металл - теллур - металл. / В сборнике: Научные исследования как основа фундаментализации образования. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 1997. Выпуск II. С.169 - 170.
35. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Мейланов Р. П. Конденсация пленок теллура в электрических полях. / В сборнике: Магнитные фазовые переходы. III Международный семинар. Сборник тезисов докладов Международной конференции и III Международного семинара, посвященного памяти академика А.С. Боровика - Романова. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 1998. С.151.
36. Келбиханов Р.К. Монокристаллические пленки теллура. / В сборнике: Вузовская наука и проблемы гуманитарного и естественнонаучного образования в высшей школе. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 1998. Выпуск III. С.172 - 174.
37. Келбиханов Р.К. Влияние электрического поля на ΔR пленок теллура. / В сборнике: Вузовская наука и проблемы гуманитарного и естественнонаучного образования в высшей

школе. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 1998. Выпуск III. С.174.

38. Келбиханов Р.К., Иванов Г.А., Качабеков М.М., Ахмедова З.А. Термоэлектрические свойства пленок теллура, выращенных в электрических полях. / В сборнике: Достижения и современные проблемы развития науки в Дагестане. Естественные науки. Сборник тезисов докладов Международной научной конференции. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 1999. С.24.

39. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Иванов Г.А. Влияние электрического поля на рост и электрофизические свойства пленок теллура. // Физика и химия обработки металлов. 2000. №6. С.54 - 56.

40. Келбиханов Р.К. Особенности роста пленок теллура в электрических полях. Депонировано в ВИНТИ. №1065 – В00. Москва, 19.04.2000. 11с.

41. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Иванов Г.А., Абдурагимов Г.А., Фатуллаева Ф.Б. Явление релаксации на границе теллур - подложка. / В сборнике: Фазовые переходы и нелинейные явления в конденсированных средах. Физика магнитных фазовых переходов. Сборник материалов Международной конференции, посвященной памяти академика Б.Б.Кадомова и IV международного семинара, посвященного 90 - летию академика В.Вонсовского. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2000. С.252 - 253.

42. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М., Ахмедова З.А., Иванов Г.А., Абдурагимов Г.А., Фатуллаева Ф.Б. Эффект поля в конденсированных пленках теллура. / В сборнике: Образование и наука – основы социально - экономического и духовного развития России. Естественные науки. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 2000. Выпуск V, часть II. С.22 - 24.

43. Келбиханов Р.К. Диэлектрическое поведение пленок теллура, выращенных в электрических полях. Депонировано в ВИНТИ. №507 – В2001. Москва, 27.02.2001. 5с.

44. Келбиханов Р.К. Эффект поля в пленках теллура, конденсированных в электрических полях. Депонировано в ВИНТИ. №507 – В2001. Москва, 7.02.2001. 12с.

45. Келбиханов Р.К., Ахмедова З.А. Абдурагимов Г.А. Абдуллаев Т.А. Температурная зависимость концентрации носителей заряда пленок теллура. / В сборнике: Будущее науки: Методология познания и образовательные технологии. Естественные науки. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 2001. Выпуск VI, часть II. С.24 - 25.

46. Келбиханов Р.К., Качабеков М.М. Иванов Г.А. Ахмедова З.А. Релаксационные явления в конденсированных пленках теллура. В сборнике: Физика полупроводников и полуметаллов. / Сборник тезисов докладов Всероссийской научной конференции. С. - Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 2002. С.97 - 98.

47. Келбиханов Р.К., Иванов Г.А. Мейланов Р.П., Абдурагимов Г.А. Электрофизические свойства пленок теллура при низких температурах, выращенных в электрических полях. / В сборнике: Физика полупроводников и полуметаллов. Сборник тезисов докладов Всероссийской научной конференции. С. - Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 2002. С.99 - 101.

48. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А. Термоэлектрические свойства и плотность заряженных поверхностных состояний пленок теллура. / В сборнике:

Инновационная деятельность в вузе – условие развития методологии современного образования. Естественные науки. Сборник тезисов докладов научной сессии преподавателей и сотрудников ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 2002. Выпуск VII, часть II. С.17 - 18.

49. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А. Концентрация носителей заряда пленок теллура, конденсированных в электрических полях. / В сборнике: Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Магнитные фазовые переходы. Сборник трудов Международной конференции и V международного семинара, посвященного памяти К.П. Белова. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2002. С.192 - 195.

50. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А. Термо - эдс пленок теллура, конденсированных на ориентирующих подложках. / В сборнике: Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Магнитные фазовые переходы. Сборник трудов Международной конференции и V международного семинара, посвященного памяти К.П. Белова. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2002. С.199 - 202.

51. Келбиханов Р.К. Диэлектрическое поведение структур алюминий - теллур - алюминий. / В сборнике: Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов Международной конференции. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2004. С.444 - 446.

52. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Ахмедова З.А. Термоэлектрические свойства пленок теллура. / В сборнике: Физическая электроника. Сборник материалов IV Всероссийской конференции по ФЭ - 2006. Махачкала, ИПЦ ДГУ, 2006. С.248 - 251.

53. Келбиханов Р.К. Температурная зависимость подвижности и концентрации носителей заряда в пленках теллура, полученных при комнатной температуре. / В сборнике: Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов Международной конференции, посвященной 50 - летию института физики ДНЦ РАН. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2007. С.553 - 556.

54. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А. Кинетика физической адсорбции пленок теллура. / В сборнике: Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах. Сборник трудов Международной конференции. Российская академия наук Дагестанский научный центр Институт физики. 2009. С.451 - 454.

55. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А. Определение оптимальных условий получения и кинетика физической адсорбции пленок теллура. / В сборнике: Современные проблемы науки и образования. Естественные и точные науки. Сборник материалов ежегодной научной сессии профессорско - преподавательского состава ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 2009. Часть 2. С.21 - 23.

56. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А. Особенности роста пленок теллура, конденсированных квазизамкнутым методом. / В сборнике: Современные проблемы науки и образования. Сборник материалов ежегодной научной сессии профессорско - преподавательского состава ДГПУ. Махачкала, ДГПУ, 2011. С.92 - 93.

57. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Магдиев А.М. Температурная зависимость электрофизических свойств пленок теллура. / В сборнике: Актуальные проблемы

прикладной математики и механики. Сборник научных трудов МГОУ им. В.С. Черномырдина. Махачкала, МГОУ. Выпуск 5. 2011. С.95 - 97.

58. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Нажмудинов А.М. Эффект поля в пленках теллура, выращенных в электрических полях. // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2011. №4. С.5 - 8.

59. Келбиханов Р.К., Джелилов Г.К. Особенности электрофизических свойств плёнок SnTe и $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$, выращенных газотранспортным методом. // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2014. №2(27). С.6 - 11.

60. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Джелилов Г.К. Электрофизические свойства плёнок PbTe . // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. №12. С.5 - 7.

61. Келбиханов Р.К., Абдурагимов Г.А., Джелилов Г.К. Свойства и структура плёнок SnTe и $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$, выращенных газотранспортным методом. / Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2015. №6 - 3. С. 19 - 22.

62. Келбиханов Р., Джалалов Р.К., Кулибеков Н.А. Термо - эдс пленок теллура, выращенных вакуумно - термическим методом. / В сборнике: Прорывные научные исследования как двигатель науки. Сборник статей Международной научно - практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2015. С. 16 - 19.

63. Келбиханов Р., Абдурагимов Г.А., Абдуллаев Т.А. Квазизамкнутый метод получения пленок теллура. / В сборнике: Прорывные научные исследования как двигатель науки. Сборник статей Международной научно - практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2015. С. 19 - 20.

64. Келбиханов Р.К. Морфология поверхности пленок PbTe . / Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. №3 - 2(69). С. 26 - 29.

65. Кроктус А., Мартупас З., Шяткус А. Электропроводность теплых дырок в дислокационном теллуре. // ФТП. 1986. Т.20, №3. С.481 - 485.

66. Кручинкина В.И., Дажаев П.Ш., Кацнельсон А.А., Попова И.И. Упорядочение в твердых сплавах $\text{Se} - \text{Te}$. // ФТТ. 1976. Т.18, №11. С.3210 - 3213.

67. Ланге В.Н., Регель А.Р. Некоторые свойства системы теллур - сера и теллур - селен. // Ученые записки (кафедра общей физики). Ленинградский государственный педагогический институт им. А.И. Герцена, 1961. Т.207. С.5 - 11.

68. Ланге В.Н., Ланге Т.И. Температурная зависимость подвижности носителей тока в системах теллур - селен и теллур - сера. // Известия АН Молдавской ССР. 1962. №5. С.113 - 116.

69. Ланге В.Н., Регель А.Р. Особенности зависимости ширины запретной зоны и подвижности носителей тока от состава твердых растворов теллур - селен, теллур - сера. // ФТТ. 1960. Т.2, №10. С.2439 - 2445.

70. Полихрониди Н.Г., Багдугев Г.Б. Теплопроводность теллура, легированного сурьмой. // ФТП. 1968. Т.2, №10. С.1659 - 1661.

71. Сандулова А.В., Гортынская И.Д., Носенко А.Е., Гончаров А.Д. Оптические и фотоэлектрические свойства тонких слоев теллура, полученных давлением расплава. // ФТП. 1972. Т.6, № 5. С.976 - 977.

72. Сегаль Р.Б. Длина пробега медленных вторичных электронов в теллуре, свинце, германии. // ФТТ. 1961. Т.3, №8. С.2413 - 2416.

- 73.Славнов А.Г. Влияние контактов на электропроводность пленок теллура. // Известия высших учебных заведений. Физика. 1967. №3. С.128 - 130.
- 74.Солончук Л.С. Некоторые особенности электрических и фотоэлектрических свойств монокристаллов теллура: Автореф. дис. ...канд. физ. - мат. наук. Черновцы, 1977. 19с.
- 75.Степуренко А.А., Алиев К.М., Абакаров Н.С. Нелинейности вольтамперной характеристики монокристалла теллура в условиях электротемпературного эффекта. // ФТП. 1989. Т.23, №9. С.1584 - 1588.
- 76.Хадсон Р. Инфракрасные системы. М.: Мир, 1972. 534с.
- 77.Шалимова К.В., Солдатов В.С., Смотряков А.А., Титов В.Б., Сапожникова О.В. Влияние поверхностного рассеяния на подвижность дырок в тонких пленках теллура. // ФТП. 1973. Т.7, №8. С.1457 - 1460.
- 78.Ши - дуань Инь, Регель А.Р. Некоторые особенности электрических свойств пленок теллура с примесью селена. // ФТТ. 1961. Т.3, №6. С.1688 - 1690.
- 79.Athwal S., Bedi R.K. Preparation of tellurium films by hot wall epitaxy. // Jap.J. Appl. Phys. 1984. V.26, №9. P.1413 - 1415.
- 80.Balasubramaniam T., Narayandass Sa.K., Balasubramaniam C., Mangalaraj D. Dielectric behaviour of tellurium thin films. // Proc. Solid State Phys. Symp. Varanasi, Dec.21 - 24, 1991. Vol.34 c. [Delhi], 1991. C.245.
- 81.Chaudhuri S., Chakrabarti B., Pal A.K. Thermoelectric power of tellurium films. // Thin solid films. 1981. V.82, №3. P.217 - 223.
- 82.Dinno M.A., Schwartz M., Giammara B. Structural dependence of electrical conductivity of thin tellurium films. // J. Appl. Phys. 1974. V.45, №8. P.3328 - 3331.
- 83.Fischer G., Hedgcock F.T. Magnetic susceptibility and galvanomagnetic effects in pure and p - type tellurium. // J. phys. chem. solids pergamon press. 1961. V.17, №3 / 4. P.246 - 253.
- 84.Ghosh S.K. Variation of field effect mobility and hall effect mobility with the thickness of the deposited films of tellurium. // J. Phys. Chem. Solids. 1961. V.19, №1 / 2. P.61 - 65.
- 85.Grubin H.L., Shaw M.P., Solomon P.R. On the form and stability of electric field profiles within a negative differential mobility. // IEEE Trans. 1973. V.20, №1. P.63 - 78.
- 86.Kaichi U., Kazunori M., Keiichiro K., Sonosuke Y. The electrical properties of tellurium thin film transistor. // Repts Univ. Electro - Communs. 1973. V.24, №1. P.9 - 16.
- 87.Kelbikhanov R.K., Kachabekov M.M., Ivanov G.A. Effect of electric field on growth and electrophysical properties of tellurium films. // Physics and chemistry of processing of materials. 2000. №6. P. 54 - 56.
- 88.Kubový A., Janda M. Effects of annealing on some transport properties of tellurium thin films. // Phys. Stat. Sol. (b). 1976. V.37, №2. P.127 - 129.
- 89.Mathur P.C., Dawar A.L., Taneja O.P. Electrical transport properties of copperdoped tellurium films. // Thin Solid Films. 1980. V.60, №3. P.281 - 285.
- 90.Okuyma K., Kumagai Y. Grain growth of evaporated Te films on a heated and cooled substrate. // J. Appl. Phys. 1975. V.46, №4. P.1473 - 1477.
- 91.Okuyma K., Kumagai Y. Hall mobility of evaporated tellurium films. // Jap. J. Appl. Phys. 1973. V.12, №12. P.1884 - 1889.
- 92.Okuyama K., Yamashita T., Chiba M., Kumagai Y. Annealing effect in tellurium films. // Japanese journal of applied physics. 1977. V.16, № 9. P.1571 - 1575.

93.Okuyama K., Chiba M. Kumagai Y. Epitaxial and amorphous - crystalline phase transition growth of evaporated Te films. // Jap. J. Appl. Phys. 1979. V.18, №3. P.507 - 514.

94.Ozkaplan H., Dinno M.A., Schwartz M. Structural dependence Seebeck effect of thin tellurium films. // J. Appl. Phys. 1979. V.50, №3. P.1533 - 1534.

95.Rapoš M., Ružinský M., Luby S., Červenák J. Dielectric properties of Me - CdTe - Me thin film structures. // Thin solid films. 1976. V.36. P.103 - 106.

96. 32.Silbermann R., Landwehr G., Köhler H. Field effect in tellurium. // Solid state communications. 1971. V.9, №13. P.949 - 951.

97.Takita K., Hagiwara T., Tanaka S. Galvanomagnetic effects in p - type tellurium at low temperatures. // Journal of the physical society of Japan. 1971. V.31, №5. P.1469 - 1478.

98.Weimer P.K. A p - type tellurium thin - film transistor. // Proc. IEEE. 1964. V.52, №5. P.608 - 609.

99.Wilson H. L., Gutierrez W.A. Tellurium TFT^s Exceed 100 - MHz and One - Watt Capabilities. // Proc. IEEE. 1967. V.55, № 3. P.415 - 416.

100.Yasuoka Y., Hirayama H., Miyata T. Tellurium thin - film field - effect transistor deposited on TGS crystal. // Japanese journal of applied physics. 1977. V.16, № 7. P.1195 - 1201.

101.Yoshio S., Makoto S. Electron microscopic studies of growth and morphology of Te crystals prepared by vacuum deposition. // Jap. J. Appl. Phys. 1980. V.19, №3. P.427 - 431.

© Келбиханов П.К., 2016

УДК 629.113

Мамаев А.Н., Балабина Т.А.,
Университет машиностроения,
г. Москва, РФ

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ПОКАЗАТЕЛИ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Из всех транспортных машин наиболее распространены колесные машины, которые используются практически во всех отраслях народного хозяйства. Их условия эксплуатации и назначения отличаются большим разнообразием. Это, как и все возрастающие требования к повышению надежности, долговечности, экономичности и т.д., обуславливает необходимость совершенствования и развития их конструкции, методов расчета и исследований.

Широко и достаточно детально проработанные вопросы теории и расчета двухосных автомобилей малоприменимы для автомобилей с тремя, четырьмя и более осями. Отсутствие общей теории, опыта проектирования, испытаний и эксплуатации многоосных автомобилей предопределило в свое время большое разнообразие их конструктивных решений и компоновок, отмечается в [1], где дается также обширный анализ многоосных автомобилей с точки зрения их конструкций. Большое количество исследований посвящено определению мощности сопротивления движению полноприводного автомобиля, общему балансу его мощности с учетом пробуксовки колес.

В работах Ю.В.Пирковского, В.Ф.Платонова, П.В.Аксенова, В.А.Петрушова и многих других указывается, что при распределении подводимого к колесам крутящего момента на большее число осей, суммарные потери будут меньше, чем при распределении его на меньшее число осей.

Пристальное внимание уделялось исследованию нагруженности трансмиссии колесных машин, которая определяет не только прочность и долговечность деталей и узлов трансмиссии, но и тягово - сцепные и экономические показатели машин [1..7 и др.].

В общем случае движения нагрузочный режим можно рассматривать как сумму нагрузочных режимов от установившегося и переходных процессов. Установившийся процесс может включать в себя три составляющие [2]: медленно изменяющиеся нагрузки (квазистатические), обусловленные сопротивлением движению, колебательные (динамические) от воздействия неровностей микропрофиля дороги, колебательные (динамические) от неровностей работы двигателя. Нагруженность трансмиссии полноприводных автомобилей в различных условиях их движения рассматривается в трудах Ю.А.Ечеистова, Г.А.Смирнова, О.П.Леликова, Е.А.Галевского, А.А.Куприянова, В.И.Рязанцева, В.А.Петрушова, Ю.В.Пирковского, С.А.Щуклина, П.В.Аксенова, А.С.Полякова, А.В.Филошкина, Н.Ф.Бочарова, В.М.Семенова, Н.Н.Яценко и других.

К числу первых отечественных ученых, исследовавших вопросы нагруженности трансмиссии полноприводного автомобиля, в том числе и циркуляцию мощности, можно отнести Е.А.Чудакова, Г.А.Зимелева, Н.И.Коротышко. В работах Н.И.Коротышко был разработан целый ряд практических рекомендаций по выбору схемы механических трансмиссий полноприводных автомобилей.

Ю.В.Пирковский исследовал влияние схемы трансмиссии на величину сопротивления качению полноприводных автомобилей, в том числе, определял связь между распределением крутящих моментов по ведущим мостам и величиной сопротивления качению.

Г.А.Смирновым совместно со своими коллегами опубликованы результаты исследований режимов работы полноприводных автомобилей при движении по твердым дорогам и деформируемым грунтам, дан подробный анализ влияния различных конструктивных параметров автомобилей.

Обширные исследования в различных условиях движения полноприводных автомобилей проведены П.В.Аксеновым и А.С.Поляковым. Эти работы отличаются комплексный подход к выработке рекомендаций по совершенствованию конструкций автомобилей, в том числе, с колесной формулой 8x8 и 12x12, а также использование метода «силового потока» при оценке сопротивления качению полноприводных автомобилей.

Обширные работы, проводимые в этой области В.А.Петрушовым, обобщены в его докторской диссертации. В последующие годы под его руководством решен также ряд вопросов, связанных с оптимизацией конструкции автомобилей.

Интересны работы А.С.Щуклина и В.М.Семенова, решивших целый ряд теоретических и практических вопросов теории качения автомобилей с колесной формулой 6x6.

Для исследования и расчета силовых передач гусеничных и колесных машин А.С.Антоновым была разработана теория силового потока, преимущество которой заключается, в частности, в том, что ее методы и принцип позволяют рассматривать любую

форму преобразуемой и передающейся энергии. Дальнейшее развитие теории силового потока получила в трудах П.В.Аксенова [1].

Достаточно большое количество работ посвящено колебаниям многоосных автомобилей, от которых зависят показатели плавности хода. Используются разнообразные расчетные колебательные схемы - от одномассных до пространственных многомассных.

Колебания колесных машин, обусловленные неровностью опорной поверхности, приводят к дополнительным затратам мощности, затрачиваемой на движение машины [8,9,10] и увеличению нагруженности узлов трансмиссии [4,5,11,12].

В полноприводных автомобилях могут использоваться трансмиссии с различными схемами привода мостов: с жесткой кинематической связью (блокированный привод), с дифференциальной связью (дифференциальный привод), с муфтами свободного хода, отключающими привод к оси при определенном кинематическом рассогласовании осей.

Исследования дифференциального и блокированного приводов, сравнение их достоинств и недостатков с точки зрения затрат мощности, топливной экономичности, распределения моментов по местам приводятся во многих работах [1,3...7,13...16].

В работе Н.В.Дивакова и И.А.Левина [13] на основании экспериментальных исследований делается вывод о том, что вполне допустимо отсутствие межосевого дифференциала в задней тележке, т.к. это мало сказывается на показателях работы трехосных автомобилей. Похожая задача рассматривалась и в [1,3,15] применительно к трехосным автомобилям. Причем в [15] указывается на отсутствие единого мнения в выборе схемы трансмиссии (6x2, 6x4 или 6x6) ввиду необходимости сравнения этих схем не только с точки зрения потерь энергии, но и по массе, а также с экономической точки зрения.

В.В.Московкин, В.А.Петрушов, С.А.Шуклин и др. [16,17], занимаясь анализом влияния режима движения и эксплуатационных факторов на величину потерь при работе ведущих мостов, указывают, что основную долю дополнительных потерь мощности составляют механические потери от циркуляции мощности при блокированном приводе. Ими исследуется также влияние неодинаковости давления воздуха в передних колесах и в колесах задней тележки, в связи с работой межосевого дифференциала.

Определенный интерес представляют экспериментальные исследования влияния различных схем привода (различных блокировках межтележечных и межмостовых дифференциалов) на величины крутящих моментов, реализуемых на мостах и полуосях автомобилей типа 8x8 МАЗ - 537 и КЗТК - 538Д [6].

В ряде работ [18,19] рассматривается влияние кинематики балансирной подвески на распределение крутящих моментов по мостам тележки.

Нагруженность трансмиссии зависит в определенной мере от длин и жесткостей карданных валов, что анализируется в [7]. В этой же работе отмечается, что с точки зрения экономичности оптимальным является распределение крутящего момента по мостам пропорционально сопротивлению движения, с точки зрения обеспечения максимальных тяговых качеств - пропорционально сцепным весам колес различных мостов.

Характерной особенностью полноприводных автомобилей является их работа в условиях бездорожья. При движении по деформируемым опорным поверхностям нагруженность трансмиссии колесных машин возрастает. Сопротивление движению будет

определяться уже не только конструктивными параметрами машины, но и, в первую очередь, физико - механическими свойствами грунта.

Так, например, С.В.Платонов [20] предлагает оценивать проходимость транспортных средств на основе определения степени реализации их геометрических и тягово - динамических характеристик, а также совместно с учетом коэффициентов сопротивления движению и сцепления.

Г.Б.Безбородова [21] использует статистические распределения характеристик дорожных условий для вероятностной оценки проходимости автомобиля.

В работе В.Ф.Платонова, В.С.Устименко, С.К.Назарова [22] приводятся экспериментальные данные по режимам движения автомобилей в различных дорожных условиях.

С.А.Щуклин и М.П.Чистов рассматривают проблему проходимости с учетом выбора веса прицепа полноприводного автомобиля.

Критерии оценки проходимости автомобилей приводятся также в работах В.Ф.Платонова, М.П.Чистова, А.И.Аксенова [23] и С.А.Щуклина [24].

Г.А.Смирнов и В.Б.Лаврентьев [25] проводят сравнительную оценку тягово - сцепных качеств автомобилей типа 8x8 с бортовой и мостовой схемами трансмиссий, используя в качестве критерия предел сцепления с грунтом.

Одной из действенных мер повышения проходимости автомобилей является, как указывает Р.Г.Армадеров и В.М.Семенов [26], применение арочных шин. Подробно влияние высокоэластичных движителей (пневмокатков) рассмотрено в работах Н.Ф.Бочарова и его коллег.

Широкий круг вопросов, связанных с проходимостью колесных машин, рассматривается также в работах Н.И.Коротюшко, Ю.В.Пирковского, А.С.Литвинова, В.Ф.Платонова, П.В.Аксенова, Я.С.Агейкина, Н.Ф.Кошарного, В.А.Скотникова, А.В.Пономарева, А.В.Климанова и в других исследованиях.

Как уже отмечалось, при движении многоосных полноприводных автомобилей по твердым дорогам равномерное распределение массы, а, следовательно, и крутящих моментов по осям является наиболее оптимальным. При движении по деформируемым грунтам соотношение моментов на разных мостах должно быть иное [28,29 и др.]. Например, при движении по суглинистой пахоте до 80 % сопротивления движению может приходиться на колеса первого моста (при равномерном распределении массы). При неравномерном распределении массы по мостам автомобиля соотношение моментов сопротивления может быть иным.

Согласно исследованиям, минимальное сопротивление движению имеет место при равномерном распределении нагрузки и не зависит от грунта. Вопросы рациональной развесовки по мостам автомобиля отражены и в ряде других работ [27,29 и др.] / .

Блокированный межосевой привод обеспечивает приближающееся к оптимальному распределению подводимых к мостам моментов (при отсутствии кинематического рассогласования). Однако в зависимости от вида грунтовой поверхности и распределения массы по мостам, требуется различное соотношение подводимых к разным мостам крутящих моментов [1,30,31].

В случае дифференциального привода, при котором имеет место равенство крутящих моментов на всех мостах, проходимость колесных машин ухудшается, хотя при

криволинейном движении, начиная с некоторого радиуса поворота [32,33], имеет место обратная картина - дифференциальный привод обеспечивает меньшее сопротивление движению, чем блокированный.

Решение задачи рационального распределения мощности по колесам полноприводного автомобиля и схем управления этим процессом, позволяющие обеспечить наименьшие энергозатраты при движении в заданных условиях, приводится в докторской диссертации С.Б.Шухмана [34].

Прямолинейное движение является частным случаем более общего криволинейного. Исследованием криволинейного движения колесных машин занимались многие советские и зарубежные ученые: Е.А.Чудаков, А.С.Антонов, Д.А.Антонов, М.В.Келдыш, А.С.Литвинов, Я.М.Певзнер, Я.Е.Фаробин, Б.С.Фалькевич, Г.А.Смирнов, В.А.Петрушов, А.Х.Лефаров, А.Т.Скойбеда, А.Ф.Полетаев и другие.

Среди решаемых вопросов были в первую очередь такие, как устойчивость и управляемость, поворотливость, влияние схемы рулевого управления, проходимость, влияние схемы привода и т.д.

Во многих работах, посвященных устойчивости и управляемости автомобилей, используется теория М.В.Келдыша, разработанная им с учетом ряда допущений: отсутствие скольжения в точечном контакте колес с дорогой, постоянство скорости, малость углов и т.п.

Д.А.Антоновым [35,36], а также Я.Е.Фаробиним [37,38] решаются вопросы определения оптимальных углов поворота управляемых колес многоосных автомобилей, исходя из предъявляемых требований по обеспечению максимального поворачивающего момента, равенства износа шин колес управляемых мостов и др.

Занимаясь проблемами кругового движения автомобилей, И.В.Балабин и В.В.Кнороз [39] установили, что в отличие от общепринятых представлений нагруженность осевой силой внутреннего колеса меньше, чем наружного, т.к. осевая жесткость у внутреннего колеса, воспринимающего меньшую радиальную нагрузку, оказывается меньше, чем наружного, несущего большую радиальную нагрузку.

Но соотношение между этими осевыми силами зависит, очевидно, от скорости поворота автомобиля, положения его центра масс, от реализуемых в контакте продольных сил.

При исследовании криволинейного движения автомобилей 6x4 и 4x2 [39] было получено, что расход топлива возрастает в три и более раз при движении с минимальным радиусом поворота по сравнению с прямолинейным движением.

Как уже отмечалось [32,33], на малых радиусах поворота дифференциальный привод обеспечивает меньшее сопротивление движению многоосных полноприводных автомобилей, чем блокированных.

Результаты экспериментальных исследований нагруженности трансмиссии автомобилей 8x8 при их криволинейном движении приводятся, в частности, в [40], трехосных автомобилей типа 6x6 – [27,40,41,42,43].

Среди теоретических исследований можно отметить работы [31,35...41 и др.], в которых с использованием расчетных схем определяются потери мощности, силы и моменты на мостах колесных машин, исследуется влияние распределения нормальной нагрузки, влияние эластичных свойств шин, схемы привода с учетом траектории движения машины.

Следует отметить, что практически все работы, связанные с анализом криволинейного движения колесных машин, ограничиваются лишь линейной областью изменения радиуса качения и коэффициента бокового увода колеса. Кроме того, использование уравнений, описывающих движение машины, затруднительно, а порой и невозможно ввиду наличия входящих в них экспериментальных коэффициентов, получение которых требует проведения весьма сложных и дорогостоящих экспериментов.

Движение колесной машины часто осуществляется не в одиночку, а с прицепом (или полуприцепом), что накладывает, естественно, свой отпечаток на особенности криволинейного движения. Имеется достаточно большое количество работ, посвященных влиянию прицепа (его базы, угла поворота управляемых колес прицепа и т.д.) на характер движения автопоезда.

Большое разнообразие схем раздачи мощности в трансмиссиях автомобилей, особенно типа 8x8 [17,43], свидетельствует об отсутствии определенного общего решения в выборе схемы трансмиссии машин такого типа.

Однако, если из всего многообразия рассматриваемых машин выделить группу автомобилей общетранспортного назначения, то для них можно отметить ряд технических решений, которые можно считать общепринятыми. Это использование блокированной связи между мостами задней тележки при односкатной ошиновке ее колес и дифференциальной связи с возможностью ее принудительной блокировки между передними управляемыми и задними неуправляемыми мостами, т.е. в раздаточной коробке. Все более широкое применение находят межколесные дифференциалы с возможностью их кратковременной принудительной блокировки. Нерешенным до настоящего времени остается вопрос о схеме привода передних управляемых мостов.

Анализ схем раздачи мощности в трансмиссиях автомобилей 8x8 общетранспортного назначения показывает, что между их передними управляемыми мостами обычно используется дифференциальная, с возможностью принудительной блокировки, или постоянно блокированная связь

Как указывает Платонов В.Ф., в трансмиссиях автомобилей типа 8x8 может устанавливаться межосевой дифференциал между первой и второй осями. Это объясняется значительным кинематическим рассогласованием осей при движении на повороте вследствие разностей путей, проходимых колесами первого и второго мостов. Однако при базе тележки менее 1,5 м несоответствие путей, проходимых колесами мостов тележки, может компенсироваться тангенциальной эластичностью широкопрофильных шин, что устраняет циркуляцию мощности между этими мостами. Подробный анализ этого явления изложен в диссертации Добромирова В.Н. [43].

Известно, что дифференциальная связь между управляемыми мостами с возможностью ее принудительной блокировки более предпочтительна с точки зрения нагруженности трансмиссии, топливной экономичности, износов шин и некоторых других эксплуатационных факторов, однако такой привод более сложен и дорог в конструктивном отношении, более металлоемок и предопределяет некоторую разунификацию агрегатов трансмиссии.

К достоинствам постоянно блокированной связи управляемых мостов можно отнести возможность более широкой унификации с агрегатами образцов типа 6x6, меньшую

металлоемкость и возможность более плотной компоновки машины. При принятом подходе к созданию общетранспортных автомобилей 8x8 это немаловажно.

Так, макетный образец КамАЗ 8x8 при осевой формуле 1 - 1 - 2, т.е. при разнесенных мостах в передней управляемой тележке, имеет между ними блокированную связь. Проработка вопроса установки межосевого дифференциала в передней управляемой тележке показала, что мост для его размещения можно развивать только вдоль оси автомобиля. Образующаяся при этом длинная массивная консоль уже при стендовых испытаниях вызвала разрушение корпусных деталей этого моста. Развитие моста вверх ограничивается весьма плотной традиционной компоновкой автомобиля КамАЗ. Сближение мостов с целью уменьшения кинематических рассогласований в передней тележке при все - таки блокированной связи между ними (с 1,92 м до 1,4 м, как в задней тележке) требует более высокой посадки двигателя, что вызывает разунификацию кабины и лишает третьего места в кабине.

В то же время известны конструкции общетранспортных автомобилей 8x8, в которых применение блокированной связи между передними управляемыми мостами при формуле управляемости 1 - 2 - 00 не ведет к ярко выраженному проявлению вредных последствий циркуляции мощности - прочностным поломкам, повышенному износу шин, значительному ухудшению топливной экономичности и т.п. Из числа отечественных образцов к таким машинам можно отнести автомобиль Урал - 5323.

Привод с муфтой свободного хода в автомобилях применяется сравнительно редко. Единой точки зрения на целесообразность применения такого привода нет. П.В.Аксенов [1] утверждает, что наличие муфты свободного хода в приводе отрицательно сказывается на тягово - динамических и эксплуатационных показателях машин. Согласно В.Ф.Платонову [28], такой привод занимает промежуточные характеристики между дифференциальным и блокированным приводами.

В ряде современных тракторов используются такие конструкции, позволяющие значительно повысить тягово - сцепные качества [44]. Это подтверждают работы, выполненные в БПИ совместно с ГСКБ по универсально - пропашным тракторам ПО «Минский тракторный завод им. В.И.Ленина», посвященные выбору оптимальной величины конструктивных кинематических несоответствий межосевых приводов мобильного энергетического типа 6x6 [45].

Имеются работы, в которых рассматривается влияние кинематического рассогласования на износ шин трактора, определяется оптимальное конструктивное кинематическое рассогласование с точки зрения уменьшения износа шин тракторов К - 700 и К - 701 [46]. Следует выделить работы [31,47,48], в которых достаточно подробно рассматривается влияние кинематического рассогласования на тягово - динамические и энергетические показатели двухосных тракторов.

Мнения зарубежных специалистов относительно рациональной схемы трансмиссий полноприводных многоосных машин весьма противоречивы. Так, некоторые исследователи [48] считают, что в конструкции многоосных машин отсутствие межосевых дифференциалов вполне закономерно, в связи с чем основные усилия предлагают сосредоточить на исследовании «закрутки» блокированного привода и влияния тангенциальной эластичности шин на циркуляцию мощности в отдельных его контурах.

В работе [49] на основе данных, полученных в ходе испытаний специальной армейской машины «Сарацин» (6х6) с заблокированным приводом колес, сделан вывод, что на подобных машинах прочность привода должна обеспечивать снятие перегрузок за счет проскальзывания колес относительно опорной поверхности. По мнению автора этого исследования, необходимо свести к минимуму число дифференциалов в трансмиссии многоосной машины, а имеющиеся снабдить механизмами блокировки.

Авторы работы [50], ссылаясь на результаты проведенных испытаний, полагают, что для машин (8х8), выполненных по мостовой схеме, наиболее целесообразно применять заблокированную связь между мостами в обеих тележках. Однако, судя по реально существующим схемам трансмиссий иностранных многоосных машин, создаваемых в последнее время, можно сделать вывод, что в развитых странах за рубежом отдают предпочтение схемам, обеспечивающим дифференциальную связь между мостами с возможностью ее принудительной блокировки.

Таким образом, дифференциальный привод с возможностью его принудительной блокировки является более предпочтительным с точки зрения обеспечения требуемых эксплуатационных показателей автомобиля, а заблокированный - предпочтительнее с точки зрения унификации и производства. Именно последнее объясняет стремление заводов отечественной промышленности к использованию в приводе передних управляемых мостов заблокированной связи. В соответствии с этим встает задача исследования привода управляемых мостов автомобилей 8х8 общетранспортного назначения с точки зрения допустимости применения постоянно заблокированной связи между управляемыми мостами без существенного снижения эксплуатационных показателей машины. При этом необходимо оценить возможное снижение надежности трансмиссии, обусловленное возникновением в ее заблокированных контурах на отдельных режимах движения значительных перегрузок, способных вызвать механическое разрушение некоторых унифицированных элементов привода. Прогнозирование такого рода поломок основывается на анализе нагруженности трансмиссии машины в различных дорожно - эксплуатационных условиях.

Известно, что нагруженность элементов трансмиссии определяется совместным воздействием на них статических и динамических нагрузок, вызываемых сопротивлением движению машины, крутильными и изгибными колебаниями в приводе, кратковременными пиковыми нагрузками, а также дополнительными нагрузками от действия циркулирующих моментов в заблокированных контурах. Исследованиями [51], установлено, что схема раздачи мощности не оказывает существенного влияния на характер крутильных колебаний в трансмиссии. Причем это влияние еще более ослабевает с увеличением собственной массы автомобиля [16]. Характер изгибных колебаний зависит в основном от особенностей кинематики карданных передач, их дисбаланса, а также от жесткости корпусных деталей агрегатов трансмиссии [50,52], т.е. применение заблокированного привода не может существенно повлиять на изменение этих параметров в сторону их ухудшения в сравнении с дифференциальным приводом. Таким образом, при сравнительной оценке нагруженности трансмиссий с различными схемами раздачи мощности допустимо учитывать лишь определяемые сопротивлением движению средние значения крутящих моментов и изменяющуюся с малой интенсивностью их динамическую

составляющую от действия кинематических рассогласований в приводе. Пиковые нагрузки при этом могут быть учтены коэффициентом динамичности трансмиссии [53].

Оценка прочности и долговечности деталей и узлов машин является одной из важнейших задач машиностроения. Применительно к автотракторостроению из большого числа работ, посвященных этой проблеме, можно выделить работы С.В.Безверхова, Н.Ф.Бочарова, Б.В.Гольда, А.И.Гришкевича, П.П.Лукина, В.С.Лукинского, Н.Л.Островекова, В.М.Семенова, И.С.Цитовича, Н.Н.Яценко и других.

Оценка прочности и долговечности деталей и узлов трансмиссии колесных машин может производиться экспериментальными, расчетными или комбинированным путем [52..59].

С наибольшей достоверностью эта задача могла бы решаться при проведении наблюдений за всеми выпущенными колесными машинами данной модели. Однако практически это неприемлемо как из-за слишком больших сроков (например, срок службы автомобиля до списания составляет 10...15 лет), так и по причинам организационного, материального и кадрового порядка.

Более реально получение оценок прочности и долговечности при наблюдении партии автомобилей в экспериментально - производственных хозяйствах (или в опорных автотранспортных предприятиях). Однако и в этом случае сроки оценки надежности автомобилей затягиваются до 5...6 лет.

Широкое распространение для оценки долговечности колесных машин получили различные испытания на натуральных моделях: ресурсные, приемочные, контрольные и т.д. Они выполняются на малом числе машин, как правило, в условиях, приближенных к эксплуатационным. Естественно, что малое число машин, участвующих в испытаниях, и приближенность нагрузочного режима с точки зрения идентичности эксплуатационным условиям сказываются на достоверности результатов. Длительность испытаний, хоть и существенно уменьшается, остается значительной до 1...1,5 лет.

Форсированные испытания натуральных моделей на полигонах позволяют получить в достаточно короткие сроки более или менее надежные результаты. При этом следует отметить важность правильного подбора специальных дорог и режимов движения. Например, согласно [54], при форсированных испытаниях на булыжной дороге девяти автомобилей с постоянной нагрузкой и скоростью движения пришлось прекратить испытания ввиду предельного состояния их рам, кузовов, ходовой части и других агрегатов, не относящихся к трансмиссии. В [54] отмечается также, что в условиях интенсивного городского движения часто число отказов деталей трансмиссии увеличивается в несколько раз. В соответствии с этим, автором [54] разработана методика форсированных испытаний, включающая большое число циклов переключения передач, трогания с места и разгона, подъема на уклон 4° ... 10° . При этом пробег при проведении форсированных испытаний на долговечность по сравнению с нормальными испытаниями уменьшается, например, для шестеренчатых передач в 2,5...4,5 раза. Следует отметить меньшую достоверность этого метода по сравнению с нормальными испытаниями, в частности, из-за трудностей создания эквивалентных условий испытаний.

В настоящее время используется и такой метод форсированных испытаний, как стендовые испытания. При этом на соответствующих стендах может испытываться как вся колесная машина (например, на стенде с беговыми барабанами), так и отдельные узлы или

детали трансмиссии (карданные валы, КП и т.п.). При реализации предельных режимов нагружения деталей сроки испытания могут быть сокращены в десятки раз.

Широкое распространение в последние годы получили расчетные методы оценки прочности и долговечности. Особенно незаменимыми они являются на стадии проектирования, когда отсутствуют натурные модели и, естественно, ни о каких испытаниях речь не может идти. Необходимые для расчетов нагрузочные режимы часто составляются на основании статистических данных, получаемых при испытаниях подобных моделей.

Нагрузочные режимы можно определить и расчетным путем, используя уравнения, характеризующие движение колесной машины в различных дорожных условиях.

Существуют различные математические модели для расчета нагрузочных режимов. Например, Н.В.Островерхов [57] квазистатическую составляющую определяет моделированием с помощью ЭВМ движения колесной машины как материальной точки, динамическую - с помощью метода динамических аналогий. Моделирование движения проводилось с использованием эмпирических выражений применительно к дороге с твердым покрытием.

Так как нагрузочный режим трансмиссии формируется условиями взаимодействия пары эластичное колесо - опорная поверхность, то представляется, что более правильным является определение нагруженности трансмиссии с учетом преобразующих свойств эластичных колес в различных условиях эксплуатации.

Большинство исследователей, разделяя нагрузочный режим в трансмиссии на квазистатическую и динамическую составляющие, долговечность деталей колесных машин определяет по квазистатической составляющей, а динамическую часть при переходных процессах учитывают в расчетах на динамическую прочность.

В ряде работ при расчетах на долговечность не учитываются нагрузки ниже предела выносливости, однако, на наш взгляд, более правильна точка зрения тех исследователей, например [58,59], которые считают, что и эти нагрузки также участвуют в накоплении усталостных повреждений и, следовательно, их следует учитывать в расчетах.

Можно отметить также, что существующие методы расчетной оценки долговечности дают весьма приближенный результат. Так, в приводимых в [56] результатах расчета долговечность полуосей, подсчитанная по разным методикам, различается в 5...9 раз.

Одной из задач, относящейся к данной области и требующей своего решения, является сравнительная оценка долговечности деталей и узлов унифицированных трансмиссий, устанавливаемых на разных моделях колесных машин и работающих в разных условиях.

В настоящее время стоит задача резкого улучшения качества выпускаемой продукции, достижения ею уровня, соответствующего лучшим мировым образцам. В первую очередь это относится к отечественному машиностроению и, в частности, к автомобилестроению.

Одной из действенных мер достижения поставленной цели является контроль качества изготовления и сборки узлов, агрегатов и автомобиля в целом.

Каждый автомобиль, сходящий с конвейера, должен проходить обкаточные испытания, в процессе которых выявляются утечки масла, смазывающих и охлаждающей жидкостей, герметичность пневмосистемы, правильность регулировок механизмов, скрытые дефекты узлов и деталей, а также происходит приработка деталей.

До недавнего времени обкаточные испытания автомобилей проводились на специально построенных трассах (как, например, на ВАЗе) или на дорогах общего пользования (например, на КраЗе). В последнее время автозаводы стремятся заменить обкаточные испытания на твердой дороге на обкаточные испытания, проводимые на барабанных стендах, поскольку это дает определенные преимущества.

Следует отметить, что условия работы колесных машин на стендах с беговыми барабанами несколько отличаются от дорожных условий: отсутствует сопротивление воздуха, появляются дополнительные потери энергии на преодоление сопротивлений в механизмах стенда, меняется коэффициент сопротивления качению колес, увеличивается деформация шин, изменяется характер распределения удельных давлений в месте контакта, снижается коэффициент сцепления колеса с барабаном.

Кроме того, оказывает влияние и сама конструкция стенда: беговые барабаны могут быть с независимым друг от друга вращением; связанными жесткой кинематической связью попарно в секции; наконец, связанными общей жесткой кинематической связью, т.е. вращающиеся синхронно. Различными могут быть и варианты нагружения барабанов тормозным (крутящим) моментом.

При различной кривизне беговых барабанов по сравнению с дорогой неизбежна значительная разница в условиях качения колес. Поэтому имеющиеся в литературе данные не дают возможности объективного сравнения результатов испытаний, полученных на разных стендах.

В [60] предлагается устанавливать в общем виде подобие условий качения колес на дороге и стенде на основе принципа подобия упругих систем. За основной показатель в таком случае берется удельная нагрузка, от которой зависит деформация шин.

Физическому подобию условий качения должно соответствовать совмещение безразмерных показателей, характеризующих влияние деформации шин (например, влияние диаметра беговых барабанов).

На практике такое совмещение характеристик наблюдается как по результатам специальных исследований, так и по наблюдениям в процессе различных испытаний. Для объективного заключения о возможности выбора оптимального диаметра беговых барабанов необходимо иметь данные, характеризующие изменения потерь на качение по основным составляющим: потерям, связанным со сжатием воздуха в шине, деформациям материала шины и потерям на проскальзывание. По мере возрастания деформации шины, в соответствии с характером изменения упругих свойств резины при деформации, в основном будут увеличиваться потери, связанные с деформацией (гистерезисные). В пределах петли гистерезиса интенсивность изменения потерь на качение близка к линейной зависимости. При значительном повышении деформации неизбежно резкое увеличение потерь на качение, сопровождающееся интенсивным проскальзыванием.

На основе данных о потерях на качение при различной кривизне опорной поверхности можно сделать вывод о возможности выбора оптимального диаметра беговых барабанов, при котором обеспечивается необходимое подобие дорожных условий.

По данным А.В.Серова [60] влияние кривизны беговых барабанов на проскальзывание начинает проявляться, если $d_s / d_k < 0,35 \dots 0,4$. Сопротивление качению также резко снижается при увеличении отношения d_s / d_k до $0,4 \dots 0,5$. Таким образом, удовлетворительная степень подобия обеспечивается при значении $(d_s / d_k)_{\min} = 0,4 \dots 0,45$, а

при значении $d_s / d_k = 0,5...0,6$ подобные требования удовлетворяются полностью. Следовательно, по условиям подобия нет необходимости создавать плоскую опорную поверхность в стенде или увеличивать диаметр беговых барабанов свыше 0,5...0,6 м даже для тяжелых грузовых автомобилей. Для большинства грузовых и легковых автомобилей может быть принят один диаметр в пределах 0,45...0,5 м.

Количество барабанов определяется степенью универсальности стенда и колесной формулой автомобиля.

При обосновании и выборе оптимального количества беговых барабанов исходят из условий опоры каждого колеса автомобиля и общего количества беговых барабанов в стенде. От того, на какое количество барабанов опирается колесо, зависят легкость и быстрота установки автомобиля на стенд, надежность его положения в процессе работы, точность и воспроизводимость результатов измерений. Каждое колесо автомобиля может опираться на поверхность одного или двух беговых барабанов, установленных параллельно. Последняя схема получила наибольшее распространение.

При опоре колеса на два беговых барабана уменьшается (по сравнению с опорой на один барабан) площадь контакта (до 30 %) и сопротивление качению (на 25...35 %).

Переход с дорожных обкаточных испытаний на стендовые ставит ряд вопросов, требующих решения, в том числе таких, как: каков должен быть нагрузочный и скоростной режимы испытаний автомобилей, какова продолжительность испытаний при условии, что выявляемость дефектов при обкатке автомобилей на стенде не должна быть ниже, чем при традиционной обкатке на твердой дороге.

Ответ на поставленные вопросы может быть найден после анализа условий и процессов, сопровождающих работу автомобиля на стенде, и в первую очередь - после анализа работы колес на барабанах стенда.

Анализ работ, посвященных исследованию колесных транспортных средств (в данной работе приведена лишь часть из них) показывает, что в настоящее время существуют нераскрытые или малоисследованные вопросы, связанные с нагруженностью трансмиссии колесных машин, оценкой долговечности ее деталей и узлов, влиянием конструктивных параметров машин на их тяговые и эксплуатационные показатели в различных условиях эксплуатации.

Известные математические модели движения колесных машин зачастую составлены для ограниченных условий эксплуатации, сложны и малоприспособны для практического использования; отсутствуют математические модели, описывающие движение широкого класса машин наземного транспорта; неизвестны методики определения нагрузочных режимов при форсированных (в том числе обкаточных) испытаниях автомобилей на барабанных стендах и т.д.

В связи с этим весьма актуальными представляются такие вопросы, как:

1. Разработка методики определения нагрузочного режима при обкаточных испытаниях автомобилей на барабанных стендах, эквивалентных по выявляемости дефектов дорожным обкаточным испытаниям.
2. Разработка методики испытаний на долговечность деталей трансмиссии автомобилей на барабанных стендах.
3. Разработка математических моделей движения колесных транспортных средств, учитывающих динамику изменения связи силовых и кинематических параметров

эластичных колес в зависимости от условий движения, и позволяющих анализировать влияние конструктивных параметров машин на показатели их работы.

4. Разработка методики расчетного определения типовых нагрузочных режимов трансмиссии для последующей оценки долговечности её деталей.

5. Анализ влияния конструктивных параметров колесных машин на износ шин.

6. Разработка математических моделей движения машин напольного транспорта (электроштабелеры, робокары, электропогрузчики и т.д.), позволяющих расчетным путем исследовать влияние конструкции этих машин и условий движения на показатели их работоспособности.

В значительной мере решение этих задач представлено в работах [61,62.63...77].

Список использованной литературы

1. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. - 2 - е изд., переработанное и дополненное, М., Машиностроение, 1989, 206 с.

2. Гришкевич А.И., Бусел Б.У., Чечик В.И. Расчет нагрузочного режима трансмиссии автомобиля. - Автооб.пром., 1984, №2, с.19...21.

3. Петрушов В.А., Пирковский Ю.В., Щуклин С.А. О различии тягово - динамических показателей автомобилей с дифференциальным и заблокированным приводом. - Автооб.пром., 1968, №10, с.8...11.

4. Смирнов Г.А., В.И.Рязанцев. Исследование на ЭЦВМ нагруженности трансмиссии многоприводных автомобилей при движении по неровностям. - Автооб.пром., 1968, №4, с.15...19.

5. Рязанцев В.И., Смирнов Г.А. О формировании нагрузок в трансмиссии многоприводного автомобиля. - Автооб.пром., 1976, №8, с.12...14.

6. Тверская Б.М., Шашин В.А., Шитман Я.М. Нагруженность трансмиссий тягачей с заблокированным приводом. - Автооб.пром., 1985, №6, с.14 - 15.

7. Кнороз В.И., Шарикян Ю.Э. Распределение крутящего момента по осям трехосного автомобиля при движении его в различных дорожных условиях. - Изв.ВУЗов, Машиностроение, 1960, №5, с.149 - 158.

8. Торчинский В.Т. Исследование сопротивления движению на неровных дорогах. - Автооб.пром., 1962, №3, с.13 - 14.

9. Бельский Ю.Б., Имашева Н.П., Фурунжиев Р.И., Ломако Д.М., Босякова З.В. К вопросу о затрате энергии на колебания автомобиля. - Автооб.пром., 1968, №9, с.14 - 18.

10. Стефанович Ю.Т. О диссипативных силах в трансмиссии. - Автооб.пром., 1973, с. 24 - 27.

11. Рязанцев В.И., Смирнов Г.А. Влияние продольных угловых колебаний автомобиля на нагруженность трансмиссии. - Изв.ВУЗов, Машиностроение, 1968, №10, с.110 - 114.

12. Смирнов Г.А., Рязанцев В.И., Галевский Е.А., Куприянов А.А., Леликов О.П. Нагруженность трансмиссии многоприводного автомобиля при движении по неровностям. - Изв.ВУЗов, Машиностроение, 1968, №5, с.112 - 117.

13. Диваков Н.В., Левин И.А. О рациональном приводе к среднему и заднему мостам автомобиля типа 6х6. - Автооб.пром., 1962, №8, с.18...21.

14. Смирнов Г.А., Леликов О.П. Влияние схемы силового привода на тягово - сцепные качества автомобилей типа 8х8. - Автооб.пром., 1967, №6, с.14...18.

15. Смирнов Г.А., Гучков Д.К., Игнатушкин А.П., Токов С.Д. О выборе рациональных схем системы «трансмиссия - двигатель» полноприводных автомобилей. - Автомоб.пром., 1984, №5, с.15...17.
16. Московкин В.В., Петрушов В.А., Чергейко В.И., Щуклин С.А. О влиянии режима движения на дополнительные потери, возникающие при блокировании привода к ведущим мостам. - Автомоб.пром., 1978, №4, с.29 - 30.
17. Исследование компоновочных схем перспективных многоцелевых автомобилей с колесной формулой 8х8. Отчет по НИР. Книга III. Инв. № 6046, - В / ч 63539, 1986, 147 с.
18. Ечеистов Ю.А., Селифанов В.В. Влияние кинематики реактивных штанг на распределение тяговых усилий по мостам тележки трехосного автомобиля при заблокированном приводе. - Автомоб.пром., 1967, №4, с.24 - 25.
19. Несвитский Я.И., Солтус А.П. О распределении крутящих моментов между мостами трехосного автомобиля при заблокированном приводе. - Автомоб.пром., 1975, №5, с.32 - 34.
20. Платонов С.В. Оценка проходимости транспортных средств с учетом условий эксплуатации. - Изв.ВУЗов, Машиностроение, 1987, №10, с.88 - 91.
21. Безбородова Г.Б. Вероятностная оценка проходимости автомобиля по статистическим распределениям характеристик дорожных условий. - Автомоб.пром, 1970, №9, с.22 - 23.
22. Платонов В.Ф., Устименко В.С., Назаров С.К. О режимах движения автомобилей в различных дорожных условиях. - Автомоб.пром., 1977, №11, с.19 - 23.
23. Платонов В.Ф., Чистов М.П., Аксенов А.И. Оценка проходимости полноприводных автомобилей. - Автомоб.пром., 1980, №3, с.10 - 13.
24. Щуклин С.А. К вопросу о критериях экспериментальной проходимости автомобиля. - Автомоб.пром., 1976, №4, с.19 - 21.
25. Смирнов Г.А., Лаврентьев В.Б. Сравнительная оценка тягово - сцепных качеств автомобилей с бортовой и мостовой схемами трансмиссий. - Автомоб.пром., 1974, №8, с.29 - 30.
26. Армадеров Р.Г., Семенов В.М. О проходимости грузовых автомобилей на арочных и стандартных шинах. - Автомоб.пром., 1962, №3, с.22 - 25.
27. Пирковский Ю.В. Сопротивление качению многоприводных автомобилей и автомобильных поездов по твердым дорогам и деформируемому грунту. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. - М., МВТУ, 1974, 399 с.
28. Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили. - М., Машиностроение, 1981, 279 с.
29. Чистов М.П., Щуклин С.А., Егоров А.И. О рациональном распределении веса по мостам полноприводного автомобиля при движении по деформируемому грунту. - Автомоб.пром., 1976, №10, с.26 - 28.
30. Лефаров А.Х. О применении блокирующихся дифференциалов. - Автомоб.пром., 1962, №11, с.16...18.
31. Скойбеда А.Т., Щавель А.А., Атаманов Ю.Е., Яцкевич В.В. К исследованию влияния межосевого привода колес на поворотливость трактора. - Тракторы и сельхозмашины, 1983, №5, с.5 - 7.
32. Степанов Ю.А. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на параметры поворота полноприводного автомобиля. - Автомоб.пром., 1975, №5, с.17 - 21.

33. Аксенов А.И., Макаров С.Г., Чистов М.П. К вопросу сопротивления качению полноприводного автомобиля при криволинейном движении по деформируемому грунту. - М., 1978, с.133 - 140 (Межвузовский сборник научных трудов. Вопросы автомобилестроения).
34. Шухман С.Б. Исследование и разработка методов повышения эффективности колесных машин за счет рационального типа силового привода. А / р докт. дисс. - М., ГНИТИ (НАТИ). - 2001 г.
35. Антонов Д.А. Об углах поворота управляемых колес многоосных автомобилей. - Автомоб.пром., 1966, №2, с.18 - 21.
36. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. - М., Машиностроение, 1978, 216 с.
37. Фаробин Я.Е. К вопросу о методике определения оптимальных углов поворота управляемых колес четырехосных автомобилей. - Автомоб.пром., 1969, №2, с.26 - 30.
38. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. - М., Машиностроение, 1970, 176 с.
39. Балабин И.В., Кнороз А.В. Исследование характеристик расхода топлива при установившемся криволинейном движении автомобиля. - Автомоб.пром., 1980, №2, с.17...19.
40. Смирнов Г.А., Леликов О.П., Рязанцев В.И., Куприянов А.А. Нагруженность трансмиссии автомобиля с колесной формулой 8x8 при криволинейном движении. - Изв.ВУЗов, Машиностроение, 1971, №6, с.114 - 118.
41. Петрушов В.А., Московкин В.В., Щуклин С.А. Пути оценки сопротивления качению при криволинейном движении многоприводного автомобиля. - Автомоб.пром., 1968, №11, с.31 - 34.
42. Макарян Р.Г. Дополнительные сопротивления криволинейному движению автомобиля. - Автомоб.пром., 1974, №6, с.28 - 30.
43. В.Н.Добромиров. Пути оценки и снижения нагруженности трансмиссии полноприводных автомобилей типа 8x8 общетранспортного назначения. - Дисс. на соискание ученой степени канд.тех.наук, М., МАМИ, 1989.
44. Гуськов В.В., Буйлов Л.Н. Вопросы теории выбора коэффициента кинематического несоответствия и схемы привода ведущих мостов трактора 4x4 с одинаковыми колесами. - Тр. ЦНИИМЭСХ, Минск, Урожай, т.VI, 1969, с.40 - 46.
45. Турлай С.Н. Межосевые связи мобильного энергетического средства типа 6К6 на базе универсально - пропашного трактора класса 2. - Автореферат канд.дисс., Минск, БПИ, 1989.
46. Исследование влияния кинематического рассогласования передних и задних колес тракторов К - 700 и К - 701 и тягового усилия на износ шин и выбор оптимальных режимов эксплуатации шин. - Научно - тех. отчет, инв. № Б906180, М., 1980.
47. Ярмошевич Ю.И., Комиссарчик А.М. О применении на тракторах 4x4 межосевой муфты свободного хода. - Тракторы и сельхозмашины, 1962, №11, с.6 - 9.
48. F.Kosar. Wheeld armoured reconnaissance vehicles. - Armada, 1984, N 2, p.36 - 56.
49. Gh.Apetrei, D.Velicu, B.Bobancu. Model petru analiza neconcordantei cinematice din sistemue de rulare al autotrenului cu semiremorca motoare la derlasarea in panta. - Bul.Univ. Brascv, 1978, 20 - A, p.97 - 104.

50. J.Massman, F.Bolling, W.Lensing. Capabilities and operational unes of modern ormoured wheeled vehicles. Armada, 1984, N 11, p.62 - 66.

51. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. - М., Машиностроение, 1980, 230 с.

52. Проектирование трансмиссий автомобилей. - Справочник (Под общей редакцией А.И.Гришкевича), М., Машиностроение, 1984, 272 с.

53. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости. - Учебник для втузов, Бочаров Н.Ф., Цитович И.С., Полунгян А.А. и др. (Под общей редакцией Бочарова Н.Ф., Цитовича И.С.), М., Машиностроение, 1983, 299 с.

54. Безверхий С.Ф. Исследование нагруженности и оптимальное планирование форсированных ресурсных испытаний трансмиссий грузовых автомобилей на дорогах ЦНАИЛ НАМИ. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ЦНАИЛ НАМИ, 1976.

55. Цитович И.С., Митин Б.Е., Дзюнь В.А. Надежность трансмиссий автомобилей и тракторов. - Минск, Наука и техника, 1985, 143 с.

56. Лукинский В.С., Котиков Ю.Г., Зайцев Е.И. Долговечность деталей шасси автомобилей. - Л., Машиностроение, 1984, 231 с.

57. Островерхов Н.Л. Прогнозирование нагруженности и долговечности трансмиссий колесных транспортных машин на ранних стадиях проектирования. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, М., 1990.

58. Гогаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. - М., Машиностроение, 1977.

59. Гарф М.Э. и др. Об особенностях накопления усталостного повреждения при спектрах нестационарной напряженности, распространяющейся ниже исходного предела усталости. - Вестник машиностроения, 1964, №6.

60. Серов А.В. Современные станции диагностики автомобилей. - НИИНавтопром, 1971.

61. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. и др. Исследование влияния параметров автомобиля на сопротивление его движению по дороге с твердым покрытием. - Вестник машиностроения, 1986, №4, с.98 - 100.

62. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н., Маринкин А.П., Медокс В.Л. Оптимизация параметров автопоезда, состоящего из автомобиля повышенной проходимости и прицепа. - М., ЦНИИТЭИавтопром, 1992, N1356 - ап92.

63. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н., Петрова Т.М., Чеботарев М.Ю. Исследование влияния параметров автомобиля на сопротивление его движению по деформируемому грунту. - Вестник машиностроения, 1988, №1, с.97 - 102.

64. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н., Москалев Б.И., Португальский В. Нагруженность трансмиссии полноприводного трехосного автомобиля. - Полigonные испытания, исследования и совершенствование автомобилей, сборник научных трудов, НАМИ, 1991, с.76 - 79.

65. Бочков В.И., Мамаев А.Н. Нагрузочные режимы трехосного полноприводного автомобиля при движении по деформируемому грунту. - М., НИИинформавтопром, 1993, №2174 - ап93.

66. Добромиров В.Н., Мамаев А.Н. Экспериментальное исследование нагруженности трансмиссии четырехосного полноприводного автомобиля. - М., НИИинформавтопром, 1993, №2175 - ап93.

67. Мамаев А.Н. Влияние конструктивных параметров колесных машин на ресурс деталей и узлов трансмиссии. - Вестник машиностроения, 1991, №1, с.20 - 22.

68. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н., Португальский В.М. Форсированные обкаточные испытания трехосных автомобилей на барабанном стенде. - Автомобильная промышленность, 1989, №8, с.16.

69. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. и др. Система уравнений, связывающих кинематические и силовые соотношения колес 3 - х осного автомобиля барабанами стенда. – М., ЦНИИТЭИавтопром, 1987, №1642 - ап 87.

70. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. и др. Расчетное определение нагрузочных режимов при обкаточных испытаниях автомобиля КраЗ - 260 на барабанном стенде, эквивалентных обкаточным испытаниям на твердой дороге. – М., ЦНИИТЭИавтопром, 1987, №1644 - ап 87.

71. Вирабов Р.В., Мамаев А.Н. и др. Определение нагрузочных режимов при обкаточных испытаниях трехосного автомобиля на барабанном стенде. - Материалы н / т конференции МАМИ. - М., МАМИ, 1988, с.19.

72. Малов С.С., Мамаев А.Н. и др. Температурные и нагрузочные режимы при обкаточных испытаниях автомобилей на барабанных стендах и на дороге. – М., ЦНИИТЭПавтопром, 1987, №1609 - ап 87.

73. Мамаев А.Н. Влияние вида кинематической связи передних мостов полноприводного четырехосного автомобиля на износ шин. Материалы н / т конференции «Триботехника - машиностроению». - Н.Новгород, 1991.

74. Мамаев А.Н. Анализ влияния вида связи между мостами передней тележки четырехосного автомобиля на нагруженность его мостов. - Сб. изб. докл. междунар. научн. симпозиума, посвященного 60 - летию воссоздания МАМИ. - М., МГТУ «МАМИ», 27 - 28 сентября 2000г, ISBN: 5 - 94099 - 001 - 0.

75. Мамаев А.Н. Износ шин. - «Грузовик», 1999, № 8.

76. Мамаев А.Н. и др. Сравнительная оценка долговечности деталей унифицированных трансмиссий автомобиля. VIII междунар. н - т конференция по динамике и прочности автомобиля. - М., 10 - 12 октября 2000 г., с.8 - 10.

77. Мамаев А.Н. Прикладные задачи математического моделирования движения и анализа работы колесных машин, - 1 - е изд. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 216 с.

© Мамаев А.Н., Балабина Т.А., 2016

УДК 62

В.М. Радомский

К.т.н., профессор кафедры ИРОСТ
Самарского архитектурно - строительного университета
г. Самара, Российская Федерация

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА, СОЗДАННАЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ И ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация

Созданная компьютерная технология технического творчества (КТТТ) разработана на кафедре ИРОСТ под руководством д.т.н., профессора С.А. Пивяского, создателя теории принятия решений в условиях неопределенности. В КТТТ входит блок

«Многокритериальный Функционально - ресурсный анализ», «Генератор творческих идей», «Блок многокритериального выбора перспективных идей», «Блок технической реализации перспективных идей», «Блок оценки конкурентоспособности разработки»

Ключевые слова

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), компьютерная технология технического творчества, принятие решений в условиях многокритериальных оценок, творческая деятельность.

Компьютерная технология технического творчества разработана на кафедре ИРОСТ под руководством д.т.н., профессора С.А. Пиявского. КТТТ является эффективной компьютерной поддержкой творческой деятельности изобретателя, создателя инновационных идей, изделий.

Для того, чтобы оценить эффективность компьютерной поддержки при решении новых задач, рассмотрим на конкретном примере технологию усовершенствования патента «Плодосъемник», № 1826855, с использованием КТТТ.

Первоначально найдем «узкое место» в патенте «Плодосъемник», используя Функционально - ресурсный анализ (ФРА):

1.Функционально - ресурсный анализ, созданный на основе функционально - стоимостного анализа и метода принятия решений в условиях многокритериальных оценок, рассматривает объект как сложную иерархическую структуру - совокупность элементов, между которыми существуют многоуровневые связи. В свою очередь, каждый элемент может являться структурой, содержащей элементы более низкого уровня.

Последовательность проведения ФРА:

- формулируют главные функции объекта, степень их важности (значимости);
- производят декомпозицию объекта на элементы;
- формируют основные и главные функции, обеспечивающие работоспособность объекта;
- оценивают степень влияния основных функций на главные;
- рассчитывают функциональную нагрузку элементов объекта.

Функциональный анализ патента «Плодосъемник»

Элементы	Основные функции элементов	Главные функции	
		Сбор плодов	Срез плодов
1.Ручка	Натягивать гибкую тягу	Несущественное	Несущественное
2.Рычаг	Обеспечивать перемещение ножа	Важное - полезное	Важное - полезное
3.Емкость плодосъемника	Сбор срезанных фруктов	Существенное	Несущественное
4.Подвижный нож	Срез плодов	Важное - полезное	Важное - полезное
5.Неподвижный нож	Срез плода	Полезное	Важное - полезное

6.Трос	Обеспечивать гибкую связь ножа и ручки	Существенное	Полезное
--------	--	--------------	----------

Ресурсный анализ является продолжением функционального анализа. Он основан на многокритериальном выборе решения. Последовательность проведения ресурсного анализа следующая:

- задают критерии для оценки объекта исследования;
- формируют стратегию выбора «узкого» места объекта;
- рассчитывают эффективность использования каждого элемента объекта.

Ресурсный анализ

Вариант	Свертка Ф - ий В max	Сложность В min	Стоимость В min	Дизайн В max	Удобство эксп. В max	Вес В min	Надежность В max	Эффективность
1.Ручка	10	20	25	50	20	20	50	37.86
2.Рычаг	100	25	25	40	30	15	40	56.52
3.Емкость плодоъемника	10	20	50	20	5	10	10	22.41
4.Подвижный нож	100	10	60	30	80	20	60	61.20
5.Неподвижный нож	100	10	60	30	80	20	60	61.20
6.Трос	25	5	10	5	40	2	5	60.21

Примечание:

В – важнейший;

max, min – направление изменение критерия (на максимум или минимум)

2. Генератор творческих идей (ГТИ). Этот блок предназначен для формирования пакета творческих идей, устраняющих «узкие» места в объекте исследования, разрешения технических противоречий (ТП). ТП формулируются в блоке ФРА:

Блоки противоречий:

Блок 1 Блок 2

+Функциональная нагрузка +Дизайн

- Стоимость - Стоимость

Блок 3 Блок 4

+Удобство эксплуатации +Надежность

- Стоимость - Стоимость

Разрешение ТП:

Приемы	Идеи
1. Местное качество	Выполнить прокладки на захватах
2. Предварительное напряжение	Установить пружину, чтобы плодосъемник открывался
3. Принцип ассиметрии - симметрии	Двойные тяги для устранения перекоса при перемещении
4. Сфероидальность	Установить сферический захват
5. Динамичность	Шарнирно – рычажный механизм
6. Местное качество	Ручка для удобного удерживания плодосъемника
7. Дробление	Захваты, состоящие из 4х пластин
8. Вынесение	Сорванный плод захватывается и выносится для складирования
9. Матрешка	Втулки перемещаются по штанге

В ГТИ входят банки математических, физических, химических, биологических эффектов и явлений, реализующих определенные действия (функции). Кроме того, в блок включены банки патентов, технических решений и идей, базы знаний, и др.

По поисковому образу, составленному из набора технических противоречий, ограничений, действий, класса в системе международной патентной классификации, Генератор творческих идей представляет по запросу пользователя информацию об аналогах и прототипе для решения поставленной задачи. Для технической реализации указанных функций кодирование информации о патенте осуществляется в пространстве, координатами которого являются [7]:

- технические противоречия, выявленные в патенте;
- эвристические приемы, разрешившие эти противоречия;
- использованные комплексные приемы для получения технического решения;
- физические, химические, геометрические и биологические эффекты и явления, использованные для получения решения;
- действия;
- область техники, к которой относится изобретение;
- подобласть техники, к которой относится изобретение;
- идеи, которые могут быть использованы для получения технического решения;
- класс патентов в Международном Патентном Классификаторе;
- существенные признаки изобретения;
- реферат.

Генератор творческих идей работает в режиме адаптации и самонастройки, увеличивая достоверность используемой информации, накопления опыта предыдущей изобретательской деятельности.

Процедура адаптации системы и настройки на заданный класс технических объектов состоит в следующем.

При вводе кодированной информации о патенте, техническом решении в блоке ГТИ каждый раз подсчитывается вероятность применения конкретного приема, комплексного приема, эффекта или явления. В этом блоке можно находить аналоги и прототипы не только в заданном классе изобретений, но и в других классах, где решена подобная задача. Пользователь может ограничить выбор области поиска прототипа или аналога в любом классе международной патентной классификации. Можно представить поисковый образ в виде технического противоречия, и в этом случае система найдет наиболее вероятные приемы, эффекты и явления, направленные на разрешение технического противоречия, устранение «узкого» места, решение поставленной задачи.

Кодирование информации о патенте - весьма трудоемкая задача, однако эффект от проделанной работы очевиден. Обмен базами данных (знаний) между пользователями (или разработчиками) создает синергетический эффект для каждого участника обмена, в результате будет количество баз, равное количеству участников.

Для большинства задач характерны технические противоречия. Они отражают конфликт между частями или свойствами системы. ТП звучат, примерно, так: «Если улучшить одну характеристику, то непременно ухудшится другая». Изобретательской ситуации присуща группа ТП, поэтому выбор одного противоречия из этой группы равносителен переходу от ситуации к задаче. В КТТТ на выходе блока ГТИ получаются решения, направленные на устранение «узкого» места (если рассматривается устройство) или нежелательного явления (если рассматривается технологический процесс). При этом одним из эффективных инструментов устранения ТП являются 40 приемов, разработанных Г.С. Альтшуллером.

3.Блок многокритериального выбора перспективной идеи. В результате выбора наиболее перспективного решения с учетом многокритериальных оценок, формируются выходные данные для блока морфологического анализа - синтеза.

4.Блок морфологического анализа - синтеза. В этом блоке анализируются различные варианты конструирования устройств или создания технологических процессов, оптимального формирования коллективов, портфеля ценных бумаг и др. [2].

Для плодосъемниа:

Техническая реализация выбранной идеи

Компоненты	Реализация	Стои - мость В min	Надеж - ность В max	Удоб - ство В max	Вес В max	Дизайн В max
1.Захватывающее устройство	1.1.Сферический захват с прокладками	**	***	****	****	****
	1.2.Сферический захват	***	**	*	***	**
2.Тяги	2.1 Две тяги	*	***	***	***	****
	2.1.Одна тяга	**	**	**	**	**
3.Ручка	3.1.Рифленая ручка	***	****	****	***	****
	3.2.Гладкая ручка	**	**	*	**	*

Полученные решения

Варианты	Тяги	Захватывающее устройство	Ручка	Эффективность
Перспективное решение	1.1.	2.1.	3.1.	78.45
1a	1.1.	2.2.	3.1.	66.46
2a	1.1.	2.1.	3.2.	66.42
3a	1.1.	2.2.	3.2.	51.31
4a	1.2.	2.1.	3.1.	48.69
5a	1.2.	2.2.	3.1.	33.58
6a	1.2.	2.1.	3.2.	33.54
Прототип	1.2.	2.2.	3.2.	21.55

Примечание:

- один символ «*» в случае изменения критерия на МИНИМУМ - является лучшей оценкой,
- четыре символа «****») в случае изменения критерия на МАКСИМУМ - является лучшей оценкой.

5. Блок оценки конкурентоспособности разработанного устройства. Основан на использовании теории принятия решений с учетом многокритериальных оценок.

Вариант	Стоимость В min	Вес В min	Удобство эксплу - атации В max	Дизайн В max	Надеж - ность В max	Эффек - тивность
1a	3	3	3	3	3	36.90
2a	2	3	2	3	3	36.70
3a	3	3	3	3	3	26.69
Прототип	2	3	2	2	3	36.90
Перспективное решение	5	4	5	5	5	62.55

В результате усовершенствования патента «Подосъемник», № 1826855, подана заявка на полезную модель, получен патент № 001103059.

Формула полезной модели

Плодосъемник, содержащий шест с установленным на нем захватом, отличающийся тем, что, он снабжен рифленой ручкой с прикрепленными к ней тягами, которые с помощью установленной и закрепленной на шесту пружины, приводят в движение сферический захват, который снабжен мягкой прокладкой, позволяющей не повреждать срезанный плод.

В настоящее время на кафедре ИРОСТ разработана новая версия компьютерной системы, создан опытный вариант Интеллектуальной информационной системы

поддержки изобретательской деятельности (ИИС). В ИИС получили дальнейшее развитие идеи КТТТ:

- осуществлена передача информации в автоматическом режиме от блока к блоку,
- Консультирующая программа включает в себя следующие блоки:
- блок «Объясняющая программа (ОП)»,
- блок «Поиск скрытых дефектов»,
- блок «Поиск и устранение скрытых дефектов»,
- блок «Энергоинформационные системы»,
- блок «Выбор целей творческой личности».
- блоки КТТТ.

На первом этапе необходимо выбрать основное направление развития системы из ряда возможных; отработать состав системы, выбрать наиболее перспективные элементы; определить границы возможного быстрого роста систем, которые раньше других могут исчерпать резервы своего развития. На последнем этапе необходимо определить физические границы существования системы, выявить и заменить подсистемы, исчерпывающие возможности своего развития; искать альтернативную систему, способную заменить существующую, т.е. искать варианты рождения новой технической системы в рамках старой.

Модернизация КТТТ связана с необходимостью расширения возможностей системы, ее адаптации к новым условиям. Кроме того, доля экономики, основанной на использовании новейших научных знаний для разработки и производства наукоемкой продукции, на создание и продажи объектов интеллектуальной собственности (патентов на изобретения, компьютерных программ и др.) в общем объеме валового внутреннего продукта нашей страны, по сравнению с другими промышленно развитыми странами мира, крайне мала [1]. В различных странах. Об этом можно судить по числу патентов на изобретения, за один год в различных государствах мира [2]. По данным Всемирной организации по интеллектуальной собственности (WIPO) на 2010 г. на долю России пришлось 0,34 % (560 патентов) от общего числа заявок на изобретения, поданных в мире; Япония ~ 19,7 % [32156 патентов]; США ~ 27,5 % (44855 патентов); Германия ~ 10,5 % (17171 патентов). Последствия такого неблагоприятного положения очевидны, недобросовестные конкуренты могут на незашитенные конкурентоспособные товары подать заявки на изобретения и запатентовать их. Авторы предлагают один из путей решения проблемы – готовить студентов вузов - будущих специалистов к инновационной деятельности, научить их разрабатывать блоки патентов с использованием средств компьютерной поддержки, разработанной самарскими учеными, - интеллектуальной информационной системы на кафедре ИРОСТ Самарского государственного архитектурно - строительного университета.

Подготовка будущих специалистов к инновационной деятельности с использованием интеллектуальной информационной системы, состоит из 3 - х направлений:

1. Осуществлять подготовку студентов к инновационной деятельности (и сотрудников предприятий) с использованием разработанной технологии.
2. Использовать компьютерную поддержку процесса подготовки, что существенно повышающая ее результативность и эффективность.

3. Научить разрабатывать по представленной в работе технологии блоки патентов, создавать нематериальные активы (для защиты конкурентоспособной продукции на внутреннем и внешнем рынках, повышения рейтинга организаций).

Подготовки студентов к инновационной деятельности с использованием интеллектуальной информационной системы основана на комплексе педагогических принципов управления процессом подготовки и комплексе педагогических условий, необходимых для реализации принципов управления подготовкой.

Комплекс педагогических принципов управления процессом подготовки студентов к инновационной деятельности включает в себя:

- принципы развития творческого воображения, культуры мышления, информационной культуры;

- принцип развития проектной культуры (стиля мышления, позволяющего формировать целостное представление взаимосвязи созидательного труда и роли человека в созидании);

- принцип развития экологической культуры (разрабатываемые проекты не должны наносить вред окружающей среде);

- принцип развития экономического образа мышления (умение оценить экономический эффект, срок окупаемости проекта и др.);

- принцип развития синергетического мышления (возникает, когда эффект от объединения превышает суммарный эффект, например, обмен идеями), навыков генерирования новых идей, создания блоков патентов с использованием средств компьютерной поддержки [4].

Комплекс педагогических условий, необходимых для реализации принципов управления подготовкой студентов к инновационной деятельности включает в себя:

- использование модульной программы подготовки, позволяющей учитывать исходный уровень подготовки студентов;

- использование многоуровневой интегративно - модульной методики подготовки;

- система процесса подготовки студентов к инновационной деятельности должна быть основана на принципе обратной связи;

- организация курсового и дипломного проектирования должны базироваться на разработанном модифицированном методе проектов, созданном на основе теории принятия решений в условиях многокритериальных оценок.

- на всех этапах подготовки студентов к творческой деятельности должны осуществляться мониторинг эффективности подготовки, оценка профессиональной конкурентоспособности будущих специалистов на рынке инжиниринговых услуг;

- структурирование патентной информации должно осуществляться по разработанной методике, используемой для обучения студентов создавать интеллектуальную собственность, блоки патентов, правовую защиту;

- обеспечивать содержательную и методологическую преемственную подготовку студентов к творческой деятельности в системе «Школа - вуз»;

- использовать философско - акмеологический подход, психолого - педагогические методы развития творческого потенциала студентов, деловую игру «Выбор целей творческой личности» для воспитания творческой личности;

- деятельность преподавателей, участвующих в подготовке студентов, должна быть инновационной;

- в подготовке студентов к инновационной деятельности использовать практические рекомендации по ведению эффективных переговоров, презентации разработок, рекламе, коммуникаций;

- в подготовке студентов необходимо использовать межпредметные связи, приемы разрешения технических противоречий, энергоинформационные системы для создания блока патентов;

- в подготовке студентов к инновационной деятельности использовать законы ТРИЗ - развития технических систем и коллективов.

Предметной областью ИИС являются объекты интеллектуальной собственности, области науки и техники, в частности, методология научно - технического творчества (например, эвристические приемы, направленные на разрешение технических противоречий). Одна из важнейших целей ИИС направлена на повышение производительности, эффективности работы творческой личности, специалиста - создателя интеллектуальной собственности, нематериальных активов, на решение практических задач, возникающих у специалистов, работающих в слабо структурированной и трудно формализуемой предметной области. ИИС позволяет рационально распределить функции между лицом, принимающим решение, и вычислительной машиной.

Объясняющая программа (ОП) ИИС дает разъяснения по функционированию блоков консультирующей программы, в нее входит программа «Логический вывод» (ЛВ). ЛВ – программа принятия решений о том, каким правилам удовлетворяют факты или объекты для генерирования новых утверждений. В ИИС используется прямая цепочка рассуждений – циклическая программа просмотра и выбора правил. Наиболее распространенным методом представления знаний являются правила продукций, использованные в ИИС.

Продукционные правила вывода. Фаза «Выполнение».

ПРИМЕР правил:

Правило № 1.; Сфера – Выбор прототипа.; Предусловие – Подобраны аналоги. Вызвана ИИС.; Условие – Сформулированы критерии выбора и стратегия выбора; Ядро – Если один из аналогов имеет самый высокий рейтинг, Условие выполняется, то - это прототип.

Правило № 2.; Сфера – Создание изобретения или ПМ; Предусловие – вызвана ИИС, выполнен ФРА, найдено «узкое» место в прототипе.; Условие – Сформулированы ТП.; Ядро – Если условие выполняется, то – перейти к блоку «Генератор творческих идей».

Правило № 3.; Сфера – Создание изобретения (ПМ); Предусловие – в блоке «Генератор творческих идей» рассчитать вероятности приемов для разрешения противоречий, из полученных идей создать «Перспективную» с самым высоким рейтингом. Условие – Если условие выполняется, то – перейти к блоку «Принятие решений с учетом многокритериальных оценок».

Правило № 4.; Сфера – Создание изобретения или ПМ; Предусловие - в блоке «Генератор творческих идей» рассчитаны вероятности приемов для разрешения противоречий, из полученных идей создана «Перспективная» с самым высоким рейтингом. Если условие выполняется, найдена идея с самым высоким рейтингом, то – перейти к блоку «Морфологический анализ - синтез».

Правило № 5.; Сфера – Создание изобретения или ПМ; Предусловие - в блоке «Принятие решений с учетом многокритериальных оценок» найдена идея с самым высоким рейтингом. Условие – Если условие выполняется, то в блоке «Морфологический

анализ - синтез» получить техническую реализацию выбранной идеи, перейти к блоку «Оценка конкурентоспособности разработки».

Представленная в ИИС База знаний содержит фактические знания, касающиеся предметной области (области техники, приемы, вещественно - энергоинформационные системы, физические и другие эффекты и явления), содержит сведения об имеющейся неопределенности.

Программа восприятия знаний - служит для обновления знаний, хранящихся в системе, в процессе ее эксплуатации (Например, после ввода решенной задачи рассчитывается уточненная вероятность приема).

Эксперт в области научно - технического творчества - специалист в области создания интеллектуальной собственности, нематериальных активов, методологии творчества.

Приобретение знаний - это передача потенциального опыта решения проблем от источника знаний и преобразование его в вид, который позволяет эти знания использовать в программе. Назовем этапы приобретения знаний:

1.Идентификация. Анализируются основные характеристики проблемы. Определяются источники экспертных знаний.

2.Концептуализация. Разрабатывается концепция представления знаний.

3.Формализация. Разрабатывается структура организации знаний.

4.Реализация. Принимаются решения об использованных структурах данных.

5.Тестирование. Производится проверка созданного варианта системы. Производится уточнение разработанных правил.[4].

Представление знаний в ИИС – это описание на машинном уровне знаний эксперта - специалиста в области научно - технического творчества. Необходимо отметить, что представление знаний не сводится к кодированию в смысле, аналогичном шифрованию. Представление знаний делает возможным описание предмета - области техники, приемов, вещественно - энергоинформационных систем и др.[7].

Подсистема, в которую входят модули «База знаний», «Динамическая база данных изобретений» отвечает за решение проблемы. Эта подсистема формирует рекомендации (альтернативы) по решению проблемы. В ИИС база знаний построена на фреймовых моделях.

База знаний, построенная на фреймовых моделях

• ИИС по заданным областям техники и приемам «подсказывает» идеи. При этом специалисту - химику предоставляется информация, связанная с областью химии, физику – физики и т.д. Пользователь может получить доступ ко всей информации, хранящейся в базе знаний. Чем больше информации о предметной области введено в систему, тем выше вероятность верных решений на выходе системы. Фреймовая модель содержит «дырки» или «слоты» - основные единицы в языках представления знаний с незаполненными значениями атрибутов. Слот имеет следующий вид:

• {<имя слота>; <f1>;<v1> ... <fn><vn>; <q1>; ... <qm>}, где:

• f_i – имена атрибутов, характерных для данного слота;

• v_i – значения для этих атрибутов или множества их значений;

• q_i – различные ссылки на другие слоты.

• Например, {<Патент>; <Номер патента>, <№217328>; <Авторы>, <Иванов И.И.>; <Бюллетень изобретений>, <Б№27>; <Год, месяц, число>, <1998.12.12>; <Формула

изобретения», <...>; <Область техники>, <Электротехника>; <Эффекты и явления>, <Эффект теплового расширения>; <Действия>, <Микро перемещение>; <Задачи>, <...>; <Решения задачи>, <...>.

- Более подробные сведения можно найти в слотах с именами: технические противоречия – приемы для разрешения технических противоречий; эффекты и явления; ограничение задачи – вещественно - энергоинформационные системы (комплексные примеры) и др.

- Для упорядочивания информации, хранящейся в отдельных слотах, используется более крупная структурная единица – фрейм, имеющая следующий вид:

- {<имя фрейма> <имя слота> <значение слота> <имя слота> <значение слота>...}.

- Таким образом, фреймовая модель – иерархическая структура типа «абстрактное - конкретное». Каждый фрейм – готовая структура, которая при заполнении превращается в описание конкретного факта, события, явления, процесса или решения конкретной задачи.

- Фреймы - прототипы хранят знания о предметной области, а конкретные фреймы пополняют эти знания реальными данными.

Использование закона S - образного развития позволяет получить новые идеи, определить место разрабатываемой (усовершенствуемой) технической системы (ТС) на кривой развития, уточнить поставленную задачу, выявить технические и физические противоречия в системе, ее подсистемах, надсистеме, технологии; обострить противоречия и попытаться их разрешить, выявить синергетические эффекты от разработки. Это дает возможность определить задачи, стоящие перед разработчиками на разных этапах жизненного цикла изделия [4].

В блоке «Поиск и устранение скрытых дефектов» отыскиваются и устраняются всевозможные скрытые дефекты. «Поиск скрытых дефектов» - программа написана на языке DELPHI. Интегрированная методика, объединяет «Диверсионный анализ» Б.Л. Злотина, методику FMEA (созданную американские фирмами ДМ, Форд, Крайслер для поиска скрытых дефектов).

Блок «Энергоинформационные системы» - комплексные приемы, представленные в виде программы на ЭВМ на языке HTML (второй вариант – на языке DELPHI).

Энергоинформационные системы (ЭИС) - предназначены для решения изобретательских задач, разработки новых технических объектов, технологий, это правила синтеза и преобразования технических систем, непосредственно вытекающие из законов развития технических систем [3].

Разработанные ЭИС адаптированы к современной системе образования. На языке HTML легко осуществляются гиперссылки, благодаря которым возможен переход от характеристик, особенностей вещественно - энергоинформационных систем к рекомендациям, направленным на улучшение их параметров, к примерам их использования.

Деловая игра «Выбор целей творческой личности» - методика игры разработана Г.С. Альтшуллером и И.М. Верткиным, программа нами написана на языке HTML, и предназначена для формирования достойных целей и качеств творческой личности.

В курсовом и дипломном проектировании используется разработанный метод проектов – включенный в ИИС, представленный ниже в виде блок - схемы.

Метод проектов

1. Поисково - исследовательский

- изучение рынка, потребностей пользователей;
- формулировка темы, идеи, задачи исследования;
- патентные исследования, поиск прототипа, аналогов.

2. Планирование творческой проектной деятельности

- выявление «узких» мест в проекте;
- генерирование творческих идей, направленных на устранение «узких» мест;
- многокритериальный выбор перспективных идей;
- создание аванпроекта изделия (морфологический анализ - синтез);
- поиск «скрытых» дефектов, внесение изменений в проект;
- оценка конкурентоспособности, перспективности, качества, технического уровня

разработки.

3. Технологический

- изготовление конструкторской и технологической документации;
- использование матрицы технологических карт (состоят из бланков технологического процесса и карточек содержания перехода, графического изображения и применяемого инструмента).

4. Заключительный

- анализ полученных результатов, испытание модели (изделия);
- защита проекта;
- оформление и отправка заявки на изобретение или полезную модель в Федеральный институт промышленной собственности;
- участие в конкурсах, выставках, презентациях;
- реклама разработок.

В заключении отметим, что внедрение промышленно образца ИИС на предприятиях, а также в высших учебных заведениях защитит конкурентоспособную продукцию на внешних рынках, студенты научатся создавать блоки патентов, существенно повысится экономическая безопасность нашей страны.

Библиографический список

1. Михелькевич В.Н., Радомский В.М. Основы научно - технического творчества, Высшее профессиональное образование, Ростов - на - Дону, 2004, 319 с.
2. Радомский В.М. Подготовка к инновационной деятельности в системе двухуровневого образования технического вуза: Монография / В.М. Радомский, В.Е. Высоцкий - М., Машиностроение, 2012. – 248 с.
3. Радомский В.М. Информационная и коммуникационная система непрерывного обучения учащихся и студентов научно - техническому творчеству. Монография, Самара, издательство научного центра Российской Академии Наук, Самара, 2005. – 372 с.
4. Радомский В.М. Эвристические приемы развития творческой активности, поиска новых идей. Том 2: Монография; Самарск. гос. арх - строит. ун - т, - Самара, 2011. – 288 с.
5. Радомский В.М. Дидактическая система подготовки студентов технических вузов к инновационной деятельности с использования средств информационных и

коммуникационных технологий. Монография; Самарск. гос. техн. ун - т, - Самара, 2010. – 307 с.

6. Радомский В.М. Информационные системы и технологии в изобретательской деятельности и рекламе. Учебное пособие, Самара, 2012. –146 с.

7. Радомский В.М. Информационные системы и технологии в изобретательской деятельности и рекламе. Учебное пособие, Самара, 2015. –218 с.

8. Радомский В.М. Теория решения изобретательских задач. Монография; Самара, 2011., 274 с.

© Радомский В.М., 2016

УДК 62

Т.А. Рафальская

Канд. техн. наук, доцент кафедры
«Теплогасоснабжения и вентиляции»
Новосибирского государственного архитектурно -
строительного университета (Сибстрин)
г. Новосибирск, Российская Федерация

ТЕПЛОВЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация

Предложена методика расчёта тепловых и гидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения при различных температурах наружного воздуха, в том числе в условиях экстремального похолодания. Рассмотрены режимы работы теплосети при верхней срезке температурного графика центрального регулирования тепловой нагрузки, при повышенном графике центрального регулирования; способы количественного регулирования местных теплопотребляющих систем. Предложены варианты рационального использования теплоты.

Ключевые слова

Тепловые сети, система теплоснабжения, система отопления, система горячего водоснабжения, температурный режим помещений.

Ведение

Одной из задач оптимизации и повышения надёжности теплоснабжения является задача автоматизации в системах доставки тепловой энергии (в тепловых сетях, ТС) и в устройствах её распределения (в тепловых пунктах, ТП).

С применением автоматики регулирования и регулируемых смесительных насосов тепловой пункт превращается из практически пассивного элемента системы теплоснабжения в активный элемент. Однако располагаемая тепловая мощность, используемая в ТП, ограничивается двумя параметрами: температурой сетевой воды τ_1 , задаваемой источником теплоты (с учетом потерь в теплосетях) согласно установленному

графику центрального регулирования тепловой нагрузки $\tau_1(t_n)$ и величиной допустимого расхода сетевой воды на ввод ТП $G_d^{\text{доп}}$, который необходимо предварительно рассчитывать. При этом регулируется подача теплоты для двух взаимосвязанных потребителей: в систему отопления и в систему горячего водоснабжения. Проведённое исследование показало, что при некоторых режимах ТП эта взаимосвязь неблагоприятна для системы отопления, поскольку расход воды для системы отопления из тепловой сети G_{do} может уменьшиться даже до нуля и система отопления будет работать на обратной воде. В то же время систему отопления нужно считать приоритетным потребителем, так как прекращение или большое сокращение подачи теплоты на отопление недопустимо или грозит аварией [3].

В соответствии с [34], присоединение потребителей в ТП предусматривается по схемам, обеспечивающим минимальный расход воды G_d в тепловой сети, а также экономию теплоты за счет применения регуляторов расхода теплоты (РО на рис. 1) и ограничения максимального расхода сетевой воды (РР на рис. 1).

Смешанные схемы ТП имеют преимущественное применение в ТП с отношением расчетных нагрузок горячего водоснабжения и отопления $Q_{hm} / Q_{omax} = 0,2 \div 1,0$ при центральном регулировании отпуска теплоты по отопительной нагрузке [34].

В двухступенчатой смешанной схеме присоединения подогревателей системы горячего водоснабжения (СГВ) с ограничением расхода сетевой воды отсутствуют «перетопы» при высоких наружных температурах t_n . Однако это осуществляется за счет сброса «излишка» сетевой воды после подогревателя СГВ II ступени в обратную магистраль, минуя систему отопления, что повышает температуру воды, возвращаемой в тепловую сеть τ_2 , и приводит к нерациональному использованию тепловой энергии. Большая неравномерность водоразбора в СГВ и необходимость снижения температуры воды из теплосети τ_1 до температуры τ_{10} для системы отопления (рис. 1), требуют постоянной работы смесительных насосов, поддерживающих постоянный расход воды в системе отопления G_o , для чего осуществляется подмешивание воды из обратной магистрали системы отопления.

Жесткая взаимосвязь между нагрузками отопления и СГВ, имеющих различные режимы работы, и отсутствие расчетных методик для управления средствами регулирования не позволяют использовать преимущества этой схемы.

Для обеспечения высокого качества теплоснабжения необходимо знать расходы теплоты и температуры сетевой воды после абонентского ввода при любых режимах его работы. Задача сводится к определению расхода сетевой воды на СГВ при любых температурах воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети, а также при изменяющейся тепловой нагрузке на ввод ТП.

1. Анализ режимов смешанной схемы ТП

Согласно [42] при ограничении расхода сетевой воды на ввод ТП $G_d(t_n)$ должны приниматься следующие особенности двухступенчатой смешанной схемы подогревателей СГВ.

а) Уменьшение площади подогревателя СГВ II ступени. Вследствие этого в I - м диапазоне наружных температур t_n при максимальном водоразборе на горячее водоснабжение идет весь расход сетевой воды G_d , что недопустимо, поскольку вызывает снижение t_b .

б) Обеспечение максимальной нагрузки горячего водоснабжения Q_{dh}^{max} за счёт уменьшения подачи теплоты в систему отопления Q_{do} . При этом система отопления

восстанавливает свою тепловую мощность только в часы отсутствия водоразбора или при незначительном водоразборе.

Поскольку в двухступенчатой смешанной схеме подогревателей СГВ с ограничением расхода Q_d тепловая мощность системы отопления Q_{do} зависит от нагрузки СГВ Q_{dh} , необходимо рассматривать совместную работу этих систем.

2. Основные расчётные уравнения

Расчетная схеме, представлена на рис. 1, где показаны значения переменных температур и расходов сетевой и нагреваемой воды.

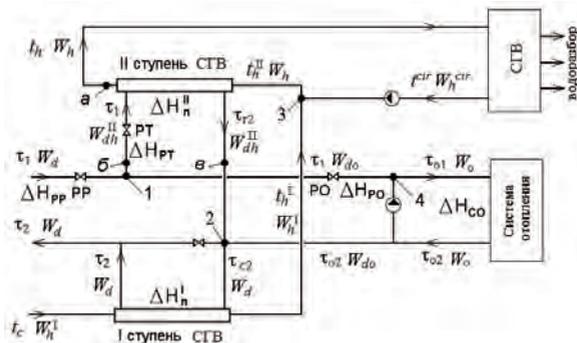


Рис. 1. Расчетная схема ТП с двухступенчатой смешанной схемой подогревателей СГВ с ограничением расхода сетевой воды.

Температуры сетевой воды:

τ_1 – в подающей магистрали теплосети; τ_{03} – в подающей магистрали системы отопления; τ_{02} – в обратной магистрали системы отопления; τ_2 – в обратной магистрали теплосети; τ_{12} – после подогревателя СГВ II ступени; τ_{c2} – на входе в подогреватель СГВ I ступени.

Температуры нагреваемой воды:

t_c – в холодном водопроводе на входе в подогреватель СГВ I ступени; t_h^1 – после подогревателя СГВ I ступени; t_h^{II} – после подогревателя СГВ II ступени; t^{cir} – в циркуляционной линии СГВ.

Эквиваленты расходов сетевой воды:

W_d – в тепловой сети; W_{dh}^{II} – на II ступень подогревателя СГВ; W_{do} – в подающей магистрали системы отопления (до смешивательного насоса); W_o – в подающей магистрали системы отопления (после смешивательного насоса).

Эквиваленты расходов нагреваемой воды:

W_h^1 – нагреваемой воды из холодного водопровода; W_h^{cir} – в циркуляционной линии СГВ; W_h^{II} – в СГВ.

PP – регулятор расхода; PT – регулятор температуры нагреваемой воды на СГВ; PO – отопительный регулятор.

Уравнения теплопередачи:

- для подогревателя СГВ II ступени

$$Q_h^{II} = k^{II} F^{II} \Delta t^{II}; (1)$$

- для подогревателя ГВС I ступени

$$Q_h^I = k^I F^I \Delta t^I; (2)$$

- для системы отопления

$$Q_{ho} = k_o F_o \Delta t_o; (3)$$

Количество тепла, потребляемое всеми системами

$$Q_d = Q_h^{II} + Q_h^I + Q_h^{co} + \Delta Q_m; (4)$$

где ΔQ_m – теплопотери.

Уравнения теплового и материального баланса:

- сетевой и нагреваемой воды во II ступени подогревателя СГВ

$$W_h^{II} (t_h - t_h^I) = W_{dh}^{II} (\tau_1 - \tau_{r2}); (5)$$

- сетевой и нагреваемой воды в I ступени подогревателя СГВ

$$W_h^I (t_h^I - t_c) = W_d (\tau_{c2} - \tau_2); (6)$$

Эквивалент расхода сетевой воды

$$W_d = W_{dh}^{II} + W_{do}. (7)$$

Уравнения сохранения энергии на смешение потоков для точек 2, 3, 4 на рис.1:

- в точке 2 смешиваются потоки сетевой воды после подогревателя СГВ II ступени и после системы отопления

$$\tau_{r2} \cdot W_{dh}^{II} + \tau_{o2} \cdot W_{do} = \tau_{c2} \cdot W_d; (8)$$

- в точке 3 смешиваются потоки нагреваемой воды после подогревателя ГВС I ступени и не использованной на водоразбор, возвращаемой системой циркуляции ГВС

$$t_h^I \cdot W_h^I + t^{cir} \cdot W_h^{cir} = t_h^{II} \cdot W_h^{II}; (9)$$

- в точке 4 смешиваются потоки воды, поступающей из тепловой сети и после системы отопления

$$W_{do} (\tau_1 - \tau_{o2}) = W_o (\tau_{o3} - \tau_{o2}). (10)$$

Изменение текущей температуры наружного воздуха $t_n(z)$ и других погодных условий (ветер, солнечная радиация) зависят от местоположения местности, времени года и др. условий (например, перемещения атмосферных фронтов и т.д.). Регулирование отпуска теплоты на источнике ведётся по усреднённой наружной температуре t_n^{cp} за промежуток времени $z^{cp}=6 - 12$ ч. Поэтому температура сетевой воды $\tau_1(t_n^{cp})$ не соответствует постоянно изменяющейся t_n . Местное или групповое регулирование в ПП осуществляется по инерционному датчику (температура t_n^{ml}), чтобы сгладить суточные колебания t_n , которые могут превышать 10 - 15°C.

Величина водоразбора в СГВ W_h (эквивалент расхода нагреваемой воды) является вероятностной величиной, зависящей от времени суток, числа жителей, вида используемых санитарных приборов, наличия коммунально - бытовых или производственных предприятий, наличия циркуляционной линии СГВ, схемы присоединения циркуляционных стояков, наличия баков - аккумуляторов СГВ. В свою очередь, расход греющей воды во II ступени подогревателя СГВ W_{dh}^{II} зависит от W_h и τ_1 .

Тепловая мощность системы отопления Q_o снижается при увеличении водоразбора в СГВ W_h , который вызывает увеличение W_{dh}^{II} и соответственно, снижение W_{do} и Q_{do} .

3. Моделирование режимов двухступенчатой смешанной схемы подогревателей СГВ с ограничением расхода

Методика решения системы уравнений (1 - 10), рассмотренных в разделе 2, представлена для ТП с двухступенчатой смешанной схемой подогревателей горячего водоснабжения с ограничением расхода при отопительно - бытовом графике центрального регулирования тепловой нагрузки. Расчет по предложенной методике производится методом последовательных приближений на ЭВМ в матричной форме.

Для проведения расчетов должны быть заданы расчетные температуры: для проектирования отопления $t_{но}$; внутреннего воздуха $t_{вп}$; в тепловой сети τ_1^p ; в системе отопления τ_{03}^p ; после системы отопления τ_{02}^p ; расчетная тепловая мощность системы отопления (и вентиляции) – $Q_{o \max}$ ($Q_{v \max}$); максимальный часовой q_{hr}^h и средненедельный q_{Tm}^h расходы воды в СГВ, определяемые по [33]; температура воды в холодном водопроводе t_c и горячей воды t_h ; суточный график неравномерности нагрузки СГВ; расчетные теплопотери трубопроводами СГВ Q^{hr} (или коэффициент теплопотерь K^t); степень недогрева водопроводной воды δt^{hp} , задаваемая для определения расчетной площади подогревателя СГВ I ступени; коэффициент тепловой аккумуляции отапливаемых зданий β .

4. Определение расчетных параметров системы отопления

Режимы работы ТП определяются принятым способом центрального регулирования на источнике теплоты и средствами автоматизации местного регулирования в ТП. Для осуществления центрального качественного регулирования по отопительной нагрузке необходимо, прежде всего, определить требуемые параметры работы системы отопления. Расчетные параметры системы отопления рассчитываются в соответствии с [7].

Температурный напор при смешении воды в смесительном устройстве ТП:

$$\Delta t_o^p = \frac{\tau_{03}^p - \tau_{02}^p}{2} - t_{вп}, \quad (11)$$

где τ_{03}^p , τ_{02}^p – расчетные проектные температуры в подающей и обратной магистрали системы отопления, °С; $t_{вп}$ – расчетная (проектная) температура внутреннего воздуха.

Расчётная разность температур сетевой воды:

$$\delta \tau_o^p = \tau_1^p - \tau_{02}^p, \quad (12)$$

где τ_1^p , – расчетная (проектная) температура в подающей магистрали тепловой сети.

Расчётный перепад температур в системе отопления:

$$\theta^p = \tau_{03}^p - \tau_{02}^p. \quad (13)$$

5. Расчет требуемых графиков температур воды в тепловых сетях

Требуемые графики зависимости температур воды в тепловых сетях от t_n рассчитываются по формулам качественного регулирования отопительной нагрузки по [7].

Требуемая температура воды в подающей магистрали тепловой сети:

$$\tau_1^{tp}(t_n) = t_{вп} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o^{tp})^{0,8} + (\delta \tau_o^p - 0,5 \cdot \theta^p) \cdot \bar{Q}_o^{tp} \geq 70; \quad (14)$$

в подающей магистрали системы отопления:

$$\tau_{03}^{tp}(t_n) = t_{вп} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o^{tp})^{0,8} + 0,5 \cdot \theta^p \cdot \bar{Q}_o^{tp}; \quad (15)$$

в обратной магистрали системы отопления:

$$\tau_{o2}^{TP}(t_n) = t_{вп} + \Delta t_o^P \cdot (\bar{Q}_o^{TP})^{0,8} - 0,5 \cdot \theta^P \cdot \bar{Q}_o^{TP}, \quad (16)$$

где требуемый относительный расход тепла на отопление:

$$\bar{Q}_o^{TP}(t_n) = Q_o^{TP} / Q_{o\max} \cdot (t_{вп} - t_n) / (t_{вп} - t_{но}) \quad (17)$$

Требуемый эквивалент расхода воды из подающей магистрали тепловой сети, кВт / °С, для системы отопления:

$$W_{do}^{TP}(t_n) = \frac{\bar{Q}_o^{TP} \cdot Q_{o\max}}{\tau_1 - \tau_{o2}} \quad (18)$$

Параметр системы отопления:

$$\omega(t_n) = \frac{Q_{o\max}}{\Delta t_o^P} \cdot \frac{(\bar{Q}_o^{TP})^{0,2}}{W_{do}^{TP}} \quad (19)$$

Безразмерная характеристика системы отопления:

$$\varepsilon_o(t_n) = \frac{1}{0,5 + u + \frac{1}{\omega}}, \quad (20)$$

где u – коэффициент смешения смесительного устройства в ТП:

$$u(t_n) = \frac{\tau_1 - \tau_{o3}}{\tau_{o3} - \tau_{o2}} \quad (21)$$

При срезке температурного графика в тепловой сети, значительном снижении температуры наружного воздуха t_n ниже расчетной для отопления $t_{но}$, значительных теплопотерях в тепловых сетях, утечках сетевой воды или не поддержании источником тепла требуемого графика центрального регулирования, температура τ_1 или расход воды G_d (давление, напор) в сети могут не соответствовать требуемым. На данном этапе можно определить только две из трёх неизвестных величин: $Q_o(t_n)$, $W_{do}(t_n)$, t_b . При совместном решении системы уравнений (22), в которой $W_{do}(t_n)$ и \bar{Q}_o^{TP} принимаются соответствующими требуемым значениям, получена формула (23) для определения $Q_o(t_n)$, затем находится температура внутреннего воздуха t_b .

$$\left. \begin{aligned} Q_o(t_n) &= \varepsilon_o W_{do}^{TP} (\tau_1 - t_b) \\ t_b &= t_n + \frac{Q_o}{Q_o^{TP}} (t_b^P - t_n) \end{aligned} \right\}, \quad (22)$$

$$Q_o(t_n) = \frac{\varepsilon_o \cdot W_{do}^{TP} \cdot (\tau_1 - t_n) \cdot Q_{o\max} \cdot \bar{Q}_o^{TP}}{Q_{o\max} \cdot \bar{Q}_o^{TP} + \varepsilon_o \cdot W_{do}^{TP} \cdot (t_b^P - t_n)} \quad (23)$$

Тогда относительный расход теплоты на отопление определится как

$$\bar{Q}_o(t_n) = Q_o / Q_{o\max} \cdot (t_b - t_n) / (t_b - t_{но}). \quad (24)$$

Формулы изменения температуры воды в обратной и подающей магистрали системы отопления в зависимости от t_n при тепловой мощности системы отопления, отличающейся

от требуемой, можно получить из уравнения теплового баланса системы отопления и выражений (15), (16):

$$\tau_{o2}(t_n) = \tau_1 - \frac{Q_o}{W_{do}^{TP}}, \quad (25)$$

$$\tau_{o3}(t_n) = \tau_{o2} + \theta^p \cdot \bar{Q}_o. \quad (26)$$

6. Последовательность определения расчетных параметров системы горячего водоснабжения

Расчетные характеристики СГВ определяются в точке излома температурного графика при $t_n = t_{нн}$, когда τ_1 постоянна, и, следовательно, температурный перепад между греющей и нагреваемой водой в теплообменниках СГВ минимальный. В данном разделе приведены формулы расчетных параметров также для двухступенчатой последовательной схемы подогревателей СГВ и смешанной без ограничения расхода, поскольку разработанную методику можно применять и для расчета этих схем.

Тепловой поток на СГВ с учетом теплопотерь, можно определить по [33], если известны тепловые потери тепла трубопроводами внутренних и квартальных систем горячего водоснабжения. При проектировании новой системы теплопотери неизвестны, поэтому для определения расчетного теплового потока на СГВ в этом случае используется коэффициент теплопотерь K^t , принимаемый по [42].

I. Расчетный тепловой поток на СГВ Q_h^p , кВт.

а) для схем с баками - аккумуляторами:

$$Q_h^p = \frac{c}{3,6} q_{Tm}^h (55 - t_c) \cdot (1 + K^t); \quad (27a)$$

б) для двухступенчатой смешанной с ограничением и последовательной схем подогревателей СГВ без баков - аккумуляторов:

$$Q_h^p = \frac{c}{3,6} q_{Tm}^h \cdot 1,2 \cdot (55 - t_c) \cdot (1 + K^t); \quad (27б)$$

в) для двухступенчатой смешанной схемы подогревателей СГВ без баков - аккумуляторов:

$$Q_h^p = \frac{c}{3,6} (q_{hr}^h + q_{Tm}^h \cdot K^t) (55 - t_c), \quad (27в)$$

где c – теплоёмкость воды, кДж / (кг·°С).

II. Определяется расчетная тепловая мощность подогревателя СГВ I ступени, кВт.

а) для двухступенчатой смешанной схемы подогревателей СГВ без баков - аккумуляторов:

$$Q_h^{1p} = \frac{c}{3,6} q_{hr}^h (t_h^{1p} - t_c); \quad (28a)$$

б) для остальных схем:

$$Q_h^{1p} = \frac{c}{3,6} q_{Tm}^h (t_h^{1p} - t_c), \quad (28б)$$

где t_h^{1p} – температура нагреваемой воды после подогревателя СГВ I ступени. В расчетном режиме задаётся величина недогрева воды в I ступени подогревателя δt^{1p} по

отношению к греющей воде. Температура греющей воды на входе в подогреватель считается равной температуре воды после системы отопления в точке излома, °С:

$$t_h^{1p} = \tau_{o2n} - \delta t^{1p}. \quad (29)$$

III. Расчетная тепловая мощность подогревателя СГВ II ступени:

$$Q_h^{IIp} = Q_h^p - Q_h^{1p}. \quad (30)$$

IV. Расчетный водяной эквивалент сетевой воды на горячее водоснабжение, кВт / °С:

$$W_{dh}^p = \frac{Q_h^{IIp}}{\tau_{1n} - \tau_{o2n}}. \quad (31)$$

V. Расчетный водяной эквивалент сетевой воды:

$$W_d^p = W_{do}^p + W_{dh}^p. \quad (32)$$

VI. Определяется расчетный эквивалент расхода нагреваемой воды в I ступени СГВ, кВт / °С.

a) для схем с баками - аккумуляторами:

$$W_h^{1p} = \frac{c}{3,6} \rho q_{Tm}^h; \quad (33a)$$

б) для двухступенчатой смешанной с ограничением и последовательной схем подогревателей ГВС без баков - аккумуляторов

$$W_h^{1p} = 1,2 \frac{c}{3,6} \rho q_{Tm}^h, \quad (33б)$$

где 1,2 – балансовый коэффициент [7, 37];

в) для двухступенчатой смешанной схемы подогревателей СГВ без баков - аккумуляторов:

$$W_h^{1p} = \frac{c}{3,6} \rho q_{hr}^h, \quad (33в)$$

где ρ – плотность воды, кг / м³.

VII. Температура сетевой воды на выходе из подогревателя I ступени:

$$\tau_{2n} = \tau_{o2n} - \frac{Q_h^{1p}}{W_d^p}. \quad (34)$$

VIII. Определяется расчетный эквивалент расхода нагреваемой воды в II ступени СГВ.

a) для схем без баков - аккумуляторов:

$$W_h^{IIp} = \frac{c}{3,6} \rho q_{hr}^h; \quad (35a)$$

б) для двухступенчатой смешанной схемы подогревателей СГВ с баками - аккумуляторами при отсутствии циркуляции:

$$W_h^{IIp} = \frac{c}{3,6} \rho q_{Tm}^h; \quad (35б)$$

в) для схем с баками - аккумуляторами при наличии циркуляции:

$$W_h^{IIp} = \frac{Q_h^{IIp}}{t_h - t_h^{IIp}}, \quad (35в)$$

где t_h^{IIp} – температура нагреваемой воды на входе в подогреватель II ступени,

- для двухступенчатой смешанной с ограничением и последовательной схем подогревателей СГВ без баков - аккумуляторов:

$$t_h^{IIp} = t_h - \frac{Q_h^{IIp}}{W_h^{IIp}}; \quad (36a)$$

- для остальных схем:

$$t_h^{IIp} = t_h^{Ip}. \quad (36б)$$

IX. Температура на выходе из подогревателя II ступени:

$$\tau_{r2и} = \tau_{1и} - \frac{Q_h^{IIp}}{W_h^{IIp}}. \quad (37)$$

X. Расчётный температурный напор в подогревателях СГВ

a) I ступени:

$$\Delta t^{Ip} = \frac{(\tau_{2и} - t_c) - (\tau_{o2и} - t_h^{Ip})}{\ln \frac{\tau_{2и} - t_c}{\tau_{o2и} - t_h^{Ip}}}; \quad (38a)$$

б) II ступени:

$$\Delta t^{IIp} = \frac{(\tau_{r2и} - t_h^{IIp}) - (\tau_{1и} - t_h)}{\ln \frac{\tau_{r2и} - t_h^{IIp}}{\tau_{1и} - t_h}}; \quad (38б)$$

где t_h – температура воды для СГВ после подогревателя II ступени.

XI. Для анализа работы ТП в различных условиях, необходимо найти параметры работы подогревателей СГВ в расчетном режиме.

a) для подогревателя I ступени:

$$\Phi^{Ip} = \frac{k^{Ip} \cdot F^I}{\sqrt{W_h^{Ip} \cdot W_d^{Ip}}} = \frac{k^{Ip} \cdot F^I}{\sqrt{W_h^{Ip} \cdot W_d^p}}; \quad (39a)$$

б) для подогревателя II ступени:

$$\Phi^{IIp} = \frac{k^{IIp} \cdot F^{II}}{\sqrt{W_h^{IIp} \cdot W_{dh}^{IIp}}} = \frac{k^{IIp} \cdot F^{II}}{\sqrt{W_h^{IIp} \cdot W_d^p}}. \quad (39б)$$

Параметр подогревателя является функцией многих переменных $\Phi=f(k, F, W_h, W_{dh})$, где k – коэффициент теплопередачи подогревателя (зависит от коэффициентов теплоотдачи α греющей и нагреваемой сред, определяемых на основе известной формулы $Nu=0,021Re^{0,8}Pr^{0,43}$ [43]); F – площадь подогревателя; W_h, W_{dh} – эквиваленты расходов греющей и нагреваемой сред. Поскольку при исходном проектировании величины k и F неизвестны, произведения $k^p F$ в формулах (39) можно определить из соотношений:

$$k^{Ip} F^I = \frac{Q_h^{Ip}}{\Delta t^{Ip}}, \quad k^{IIp} F^{II} = \frac{Q_h^{IIp}}{\Delta t^{IIp}}. \quad (40a, б)$$

Следует заметить, что согласно методике [42] для схемы СГВ с циркуляцией, расходы нагреваемой воды в I и II ступенях различны: в I ступени нагревается средний расход воды q_{Tm}^h (или $1,2q_{Tm}^h$), а во II – максимальный расход q_{hr}^h . При этом, тепловая нагрузка II ступени СГВ Q_h^{IIp} рассчитывается как средняя (или с балансовым коэффициентом 1,2), что создаёт условия, в которых система отопления будет недополучать тепло не только при

максимальном, но и при среднем водоразборе. Кроме того, в расчетных условиях по формуле (37) вследствие перечисленных причин $\tau_{г2н}$ значительно выше $\tau_{о2н}$ (обычно $\tau_{г2н}$ около 60 °С, когда $\tau_{о2н}$ около 40 °С). При этом во II ступени СГВ (при $t_{ин}$) используется суммарный расход на отопление и горячее водоснабжение из сети. Поэтому, было бы правильнее в формуле (38а) для определения Δt^{lp} вместо $\tau_{о2н}$ использовать $\tau_{г2н}$. Однако, это же значение $\tau_{г2н}$ нужно использовать и в (28, 34), но его можно определить только в конце расчета, принимая вместо неизвестной температуры $\tau_{о2н}$.

Для других двухступенчатых схем (последовательной или смешанной без ограничения) подобного расхождения не наблюдается: в последовательной схеме сетевая вода после II ступени подогревателя СГВ поступает в систему отопления и на входе в подогреватель I ступени имеет температуру, близкую к $\tau_{о2н}$; в смешанной без ограничения схеме в нормальных условиях работа системы СГВ не влияет на систему отопления.

Отмеченные ограничения усложняют построение модели ТП и делают невозможным применение ранее разработанных методик расчета последовательных и двухступенчатых смешанных без ограничения схем ТП [4, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 39], основанных на использовании неизменных, рассчитанных при $t_{ин}$, параметров теплообменников в любых условиях.

7. Расчет переменных режимов работы ТП

Анализ существующей методики расчета оборудования ТП с двухступенчатой смешанной схемой подогревателей СГВ при ограничении расхода, принятой в [42], показал, что выбор средств автоматизации для местного регулирования в ТП по характеристикам расчетного режима не обеспечит качественного регулирования расходов тепла и воды даже в проектных условиях при $t_{ин}$. Как следствие, этот выбор не обеспечит комфортных условий в помещениях и приведёт к перерасходу тепловой энергии. Целью расчета переменных режимов работы ТП является определение расчетных зависимостей изменения температур и расходов воды в любых условиях работы ТП для осуществления программной настройки системы регуляторов.

7.1. Первый этап расчета

Теплообменные аппараты ТП (подогреватели СГВ и системы отопления) в эксплуатационных условиях работают при переменных расходах и температурах теплоносителей. Температуры и расходы теплоносителей при установившемся режиме работы теплообменного аппарата можно определить из уравнений теплопередачи и теплового баланса:

$$Q = kF\Delta t = W_6 \delta t_6 = W_m \delta t_m, \quad (41)$$

где Q – тепловая производительность теплообменника; F – площадь поверхности теплообмена; k – коэффициент теплопередачи; Δt – среднелогарифмическая разность температур греющего и нагреваемого теплоносителя; $\delta t_6, \delta t_m$ – большее и меньшее значения изменения температур каждого из теплоносителей; W_6, W_m – большее и меньшее значения тепловых эквивалентов расходов теплоносителей. Линейная зависимость была предложена Е.Я. Соколовым [35, 36, 38, 40],

$$\Delta t = \nabla - a\delta t_m - b\delta t_6, \quad (42)$$

где ∇ – максимальная разность температур теплоносителей на входе в подогреватель; a и b – постоянные коэффициенты, зависящие от схемы движения теплоносителя в теплообменнике. При противоточном движении теплоносителей в водо - водяных подогревателях систем горячего водоснабжения и отопления, значения коэффициентов согласно теории Е.Я. Соколова составляют: $a=0,35$ и $b=0,65$.

В 1 - м приближении кроме площади теплообменников не известна ни одна из величин, входящих в (41). В [7] предлагается использовать уравнение характеристики теплообменного аппарата

$$Q = \varepsilon W_M \nabla, \quad (43)$$

где ε – безразмерная удельная тепловая нагрузка теплообменника, представляющая собой отношение тепловой производительности данного аппарата к тепловой производительности противоточного теплообменника с бесконечно большой поверхностью нагрева, работающего при тех же условиях на входе в аппарат. Использование выражения (43) несколько упрощает задачу, поскольку здесь вместо логарифмического температурного напора Δt используется ∇ , что сокращает число неизвестных. Однако определение ε по точному экспоненциальному выражению требует знания текущего коэффициента теплопередачи подогревателей k , что на первом этапе невозможно. Поэтому целесообразно использовать определение величины ε по формуле (44), предложенной в [38] и в ряде других работ [35, 40] на основе линейной зависимости, предложенной Е.Я. Соколовым, в которой предполагается стабильность параметра подогревателя Φ , определенного в расчетном режиме при $t_{ни}$ по формулам (39). В таком случае число неизвестных ограничивается расходами теплоносителей. В подогревателе СГВ I ступени расход сетевой воды в любом режиме не менее отопительного и изменяется от W_{do} (расход воды на отопление из сети) до $W_d = W_{do} + W_{dh}$ (суммарный расход сетевой воды); в то же время в подогревателе II ступени наблюдается значительное изменение расходов сетевой воды, от минимального (возможно, равного нулю) до W_d . Кроме того, во II ступени расход греющей сетевой воды является искомым (неизвестен), поэтому расчет необходимо начать с I ступени подогревателя.

Примем расход сетевой воды в I ступени подогревателя СГВ равным W_{do} . Расходом воды из сети на СГВ W_{dh} пренебречь в 1 - м приближении ввиду его неопределенности. В этом случае безразмерная характеристика подогревателя I ступени:

$$\varepsilon^I(t_{ни}) = \frac{1}{a \cdot \frac{W_M}{W_6} + b + \frac{1}{\Phi^{lp}} \cdot \sqrt{\frac{W_M}{W_6}}} \leq 1, \quad (44)$$

где W_M , W_6 – соответственно меньшее и большее из двух значений W_{do} и W_h^I водяных эквивалентов теплоносителей, проходящих через I ступень.

Тогда тепловая мощность I ступени подогревателя СГВ:

$$Q_{h1}^I(t_{ни}) = \varepsilon^I W_M \nabla^I, \quad (45)$$

Температуру греющей воды на входе в подогреватель I ступени – смешанной воды (рис. 1), возвращаемой после систем отопления и СГВ, необходимо определять из уравнения теплового баланса для систем отопления и СГВ. Однако в 1 - м приближении не известны также температура и расход сетевой воды после подогревателя СГВ II ступени. Поскольку

расход сетевой воды в I ступени был предварительно принят равным отопительному, предлагается и температуру сетевой воды на входе в подогреватель I ступени принять равной τ_{o2} . В этом случае максимальная разность температур на входе в подогреватель:

$$\nabla^I(t_n) = \tau_{o2} - t_c. \quad (46)$$

В отличие от формулы (41), в которой необходимо знание всех температур греющей и нагреваемой сред на входе и выходе теплообменника, использование формулы (43) позволяет определить температуру водопроводной воды после подогревателя I ступени, после того как определена мощность подогревателя СГВ I ступени:

$$t_h^I(t_n) = t_c + \frac{Q^I}{W_h^I}. \quad (47)$$

Необходимую тепловую производительность подогревателя II ступени, можно определить, зная требуемую суммарную (расчетную) тепловую нагрузку подогревателей СГВ:

$$Q_h^{II}(t_n) = Q_h - Q_h^I. \quad (48)$$

В общем случае эквивалент сетевой воды через подогреватель СГВ II ступени, можно определить, как:

$$W_{dh}^{II}(t_n) = \frac{Q_h^{II}}{\tau_1 - \tau_{r2}}, \quad (49)$$

где τ_{r2} – температура греющей воды на выходе из подогревателя II ступени. Ввиду того, что при предварительном расчете τ_{r2} неизвестна, примем, что в подогревателе отсутствуют теплопотери и возможна полная передача тепла от греющей к нагреваемой среде, т.е. $\tau_{r2} = t_h^I$ как в теплообменнике с бесконечно большой поверхностью теплообмена.

Условие учета в подогревателе I ступени только отопительного расхода в I - м приближении несколько занижает тепловую нагрузку этого подогревателя, и соответственно, увеличивает нагрузку подогревателя II ступени. Однако принятое условие отсутствия потерь тепла в подогревателе снижает завышенный эквивалент расхода сетевой воды, получаемый по формуле (49), что уменьшает погрешность расчета.

После получения величины $W_{dh}^{II}(t_n)$ появляется возможность предварительно определить суммарный эквивалент расхода сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение, возвращаемой в тепловую сеть после подогревателя I ступени СГВ, т.е. водяной эквивалент расхода сетевой воды через подогреватель I ступени:

$$W_d(t_n) = W_{do}^{TP} + W_{dh}^{II}. \quad (50)$$

Для определения температуры смешанной воды, возвращаемой после систем отопления и горячего водоснабжения необходимо составить уравнение теплового баланса для систем отопления и горячего водоснабжения. Примем, что работа системы горячего водоснабжения не влияет на работу системы отопления. Тогда расход и температура теплоносителя после системы отопления будут соответствовать требуемым, и температуру сетевой воды на входе в подогреватель I ступени СГВ можно определить по формуле

$$\tau_{c2}(t_n) = \frac{W_{do}^{TP}}{W_d} \cdot \tau_{o2} + \frac{W_{dh}^{II}}{W_d} \cdot \tau_{r2}. \quad (51)$$

Расходы сетевой воды $m^3 / ч$, определяются по формуле
 $G=3,6W/(cp)$, (52)

где c – теплоёмкость, ρ – плотность сетевой воды.

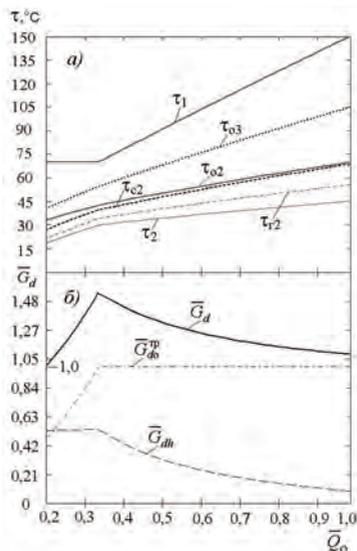


Рис. 2. Температуры и расходы сетевой воды в ТП по результатам 1 - го приближения.

В качестве примера рассчитаны режимы типового ТП с $\psi=Q_{lm}/Q_{o\max}=0,4$. Расчетные температуры сетевой воды 150 / 70 °С. Относительный расход сетевой воды $\bar{G}_d = G_d/G_{d\max}$. Полученные в 1 - м приближении зависимости температур и расходов сетевой воды от t_n представлены на рис. 2. В 1 - м приближении определено предварительное значение расхода воды для нагрева воды на горячее водоснабжение $G_{dh}(t_n)$. Однако в схеме ТП с ограничением расхода воды на СГВ, подаваемой тепловой сетью $G_{dh}(t_n)$, и действительно расходуемый на нагрев воды во II ступени подогревателя $G_{dh}^{II}(t_n)$ не совпадают. Поэтому погрешность в оценке распределения расходов между системами отопления и горячего водоснабжения и, соответственно, в определении температур сетевой воды велика, что требует дальнейшего уточнения.

7.2. Второй этап расчета

Предварительные расчеты, выполненные в 1 - м приближении, не учитывали зависимость работы системы отопления от водоразбора в СГВ. Однако в схеме ТП с ограничением расхода воды из сети площадь подогревателя СГВ II ступени и система автоматизации рассчитаны таким образом, что в точке излома температурного графика для нагрева воды на горячее водоснабжение используется весь расход сетевой воды W_d (суммарный на отопление и СГВ). При других t_n через подогреватель II ступени СГВ проходит не только расход греющей воды на горячее водоснабжение, но и часть отопительного расхода, вследствие уменьшенной площади нагрева подогревателей II ступени, что сокращает расход воды из сети для системы отопления. Таким образом, во 2 - м приближении необходимо найти не только расход сетевой воды на СГВ, но также расход сетевой воды во II ступени подогревателя и соответственно в системе отопления.

В первую очередь необходимо уточнить производительность I ступени подогревателя $Q_h^I(t_n)$ по формулам (44) и (45). В данном случае водяные эквиваленты греющей и нагреваемой сред принимаются соответственно W_d^I и W_h^I ; при этом максимальная разность температур в I ступени подогревателя:

$$\nabla^I(t_n) = \tau_{c2} - t_c. \quad (53)$$

Температура нагреваемой воды после подогревателя I ступени t_h^I определяется по формуле (47).

Определяется тепловая нагрузка подогревателя II ступени $Q_h^{II}(t_n)$ по формуле (48).

Более точное значение эквивалента расхода сетевой воды в подогревателе СГВ II ступени, учитывающее действительную площадь подогревателя и расходы теплоносителей, можно получить, используя параметр Φ^{II} , который в данном случае принимается постоянным и равным расчетному Φ^{IIp} , по формуле теории линейных характеристик Е.Я. Соколова, и используемой в работах Н.М. Зингера, М.С. Закатовой и др. [7, 39]:

$$W_{dh}^{II}(t_n) \cong c \cdot (\Phi^{IIp})^2 \cdot W_h^{II} / \left[-1 + \sqrt{1 + d \cdot (\Phi^{IIp})^2 \left(\frac{\nabla^{II} \cdot W_h^{II}}{Q_h^{II}} - e \right)^2} \right] \geq \frac{Q_h^{II}}{\nabla^{II}}, \quad (54)$$

где c и d – коэффициенты, зависящие от соотношений расходов нагреваемого $W_{нар}$ и греющего $W_{гр}$ теплоносителей. Если $W_{нар} < W_{гр}$, то $c=1,7$; $d=2,6$; $e=a=0,35$. Если $W_{нар} > W_{гр}$, то $c=0,5$; $d=1,4$; $e=b=0,65$.

Максимальная разность температур на входе в подогреватель II ступени $\nabla^{II}(t_n)$, определяется по формуле

$$\nabla^{II}(t_n) = \tau_1 - t_h^I. \quad (55)$$

Температуру сетевой воды на выходе из подогревателя II ступени, можно определить по формуле

$$\tau_{c2}(t_n) = \tau_1 - \frac{Q_h^{II}}{W_{dh}^{II}}. \quad (56)$$

В данной схеме ТП в точке излома величина W_{dh}^{II} может достигать W_d , а при других t_n – превышать расход воды, подаваемой тепловой сетью на горячее водоснабжение. Поэтому, во 2 - м приближении мы не можем воспользоваться формулой (50) для того, чтобы найти водяной эквивалент расхода сетевой воды через подогреватель I ступени, т.к. неизвестен эквивалент расхода из сети для системы отопления $W_{до}$, который в этом случае может уменьшиться до нуля.

Поскольку в подогревателе I ступени всегда используется весь расхода сетевой воды после систем отопления и СГВ, предлагается суммарный эквивалент расхода сетевой воды, определять по формуле, аналогичной (54), с использованием в ней характеристик и параметра подогревателя I ступени. При этом следует учесть, что в подогревателе I ступени суммарный эквивалент расхода на отопление и горячее водоснабжение W_d всегда больше эквивалента нагреваемой воды W_h^I .

$$W_d^I(t_n) = W_d(t_n) \cong 0,5 \cdot (\Phi^{Ip})^2 \cdot W_h^I / \left[-1 + \sqrt{1 + 1,4 (\Phi^{Ip})^2 \left(\frac{\nabla^I \cdot W_h^I}{Q_h^I} - 0,65 \right)^2} \right], \quad (57)$$

В таком случае эквивалент расхода сетевой воды, подаваемый тепловой сетью на СГВ W_{dh} можно найти как разницу между суммарным сетевым расходом воды в I ступени и требуемым расходом сетевой воды на отопление:

$$W_{dh}(t_n) = W_d - W_{do}^{II} \cdot (58)$$

В действительности, расход воды для системы отопления из сети может быть не равен требуемому расходу. Примем во 2 - м приближении $W_{do}^{II}(t_n) = W_d - W_{dh}^{II}$. Тогда уравнение теплового баланса систем отопления и горячего водоснабжения для определения температуры сетевой воды на входе в подогреватель I ступени, будет иметь вид:

$$\tau_{c2}(t_n) = \frac{W_d - W_{dh}^{II}}{W_d} \cdot \tau_{o2} + \frac{W_{dh}^{II}}{W_d} \cdot \tau_{r2}, \quad (59)$$

где τ_{o2} на данном этапе определена по формуле (25) без учета уменьшенного расхода сетевой воды в системе отопления.

Температура сетевой воды на выходе из подогревателя СГВ I ступени, возвращаемая в тепловую сеть:

$$\tau_2(t_n) = \tau_{c2} - \frac{Q_h^I}{W_d} \cdot (60)$$

Температура нагреваемой воды после I ступени подогревателя СГВ:

$$t_h^I(t_n) = t_c + \frac{Q_h^I}{W_d}; \quad (61)$$

Температуру воды, поступающей в СГВ, можно найти из соотношения:

$$Q_h^{II}(t_n) = W_h^{II}(t_h - t_h^I) = W_{dh}^{II}(\tau_1 - \tau_{r2}) \Rightarrow t_h(t_n) = t_h^I + \frac{W_{dh}^{II}}{W_h^{II}}(\tau_1 - \tau_{r2}). \quad (62)$$

Результаты расчетов 2 - го приближения представлены на рис. 3.

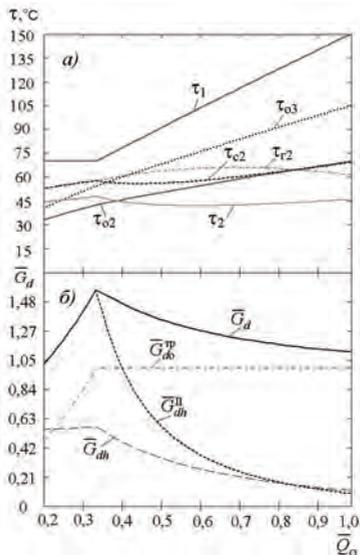


Рис. 3. Температуры и расходы сетевой воды ТП по результатам 2 - го приближения.

После выполнения расчетов 2 - го приближения возникают следующие задачи: а) определить действительную температуру воды после системы отопления τ_{o2} , снижающуюся под воздействием водоразбора в СГВ; б) проверить сходимость предложенной методики, для чего выполняется ряд дальнейших приближений; в) оценить погрешность расчета в связи с использованием упрощенных зависимостей типа (44, 54, 57).

7.2. Второй этап расчета

а) Влияние нагрузки СГВ на систему отопления выражается в уменьшении расхода из сети, так что действительный эквивалент расхода $W_{do}^d(t_n) = W_d - W_{dh}^d$. Найдем по формуле (23) действительную тепловую мощность системы отопления $Q_o^d(t_n)$ при расходе сетевой воды $W_{do}^d(t_n)$. Для определения температуры воды в системе отопления $\tau_{o3}(t_n)$ и после системы отопления $\tau_{o2}(t_n)$ необходимо найти t_b , которая установится за время максимального водоразбора, для чего воспользуемся теорией лимитированного теплоснабжения, предложенной в [18]. Тогда, действительную температуру внутреннего воздуха, можно определить по следующей формуле

$$t_b^d(t_n) = t_n + \left[\frac{Q_o^d}{Q_o^{TP}} + \left(\frac{t_{b1} - t_n}{t_b^p - t_n} - \frac{Q_o^d}{Q_o^{TP}} \right) \cdot e^{\frac{-z}{\beta}} \right] \cdot (t_b^p - t_n), \quad (63)$$

где t_{b1} – температура внутреннего воздуха к началу максимального водоразбора; z – продолжительность максимального водоразбора; β – коэффициент тепловой аккумуляции здания.

Таким образом, благодаря тепловой аккумуляции здания, по истечении времени z тепловая мощность системы отопления будет несколько выше, чем действительно получаемое количество тепла из сети. Количество аккумулированного тепла, предлагается определять по формуле

$$Q_{ак}(t_n) = Q_o^{TP} \cdot \frac{t_b^d - t_n}{t_{вр} - t_n}. \quad (64)$$

Тогда $\tau_{o3}(t_n)$ и $\tau_{o2}(t_n)$ можно найти на основе зависимостей (15, 16):

$$\tau_{o3}^d(t_n) = t_b^d + \Delta t_o^p \cdot \left(\frac{Q_{ак}}{Q_{o\max}} \right)^{0,8} + 0,5 \cdot \theta^p \cdot \frac{Q_{ак}}{Q_{o\max}}, \quad (65)$$

$$\tau_{o2}^d(t_n) = t_b^d + \Delta t_o^p \cdot \left(\frac{Q_{ак}}{Q_{o\max}} \right)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta^p \cdot \frac{Q_{ак}}{Q_{o\max}}. \quad (66)$$

б) Для уточнения характеристик ТП было проведено 10 последовательных приближений. Как видно из рис.4 (где цифрами указаны номера приближений), безразмерная характеристика подогревателя I степени $\varepsilon^1(t_n)$ со 2 - го приближения практически не изменяется. Отсюда следует, что расход сетевой воды через подогреватель I степени $W_d(t_n)$ после 2 - го приближения не требует дальнейших уточнений. Однако, как видно на рис. 5, тепловая мощность подогревателя I степени $Q_n^1(t_n)$ изменяется значительно. Это связано с тем, что $\tau_{c2}(t_n)$, определенная в 1 - м приближении (когда не учитывается влияние нагрузки горячего водоснабжения на систему отопления), входящая в максимальную разность температур на входе в подогреватель $\nabla^1(t_n)$, значительно отличается от $\tau_{c2}(t_n)$ 2 - го

приближения. Однако при определении $Q_h^I(t_n)$ во 2 - м приближении используется значение $\tau_{c2}(t_n)$ из 1 - го приближения. Расчеты показали, что, начиная с 4 - го приближения величина $Q_h^I(t_n)$ мало изменяется при низких t_n , а с 6 - го приближения достигает устойчивого значения при t_n близких к $t_{нн}$. В то же время увеличение $Q_h^I(t_n)$ вызывает соответствующее снижение $Q_h^{II}(t_n)$, что в свою очередь вызывает увеличение $W_{dh}^{II}(t_n)$ (показано на рис. 6). Граничным условием здесь является то, что расход сетевой воды во II ступени подогревателя СГВ не может превысить расход в I ступени (равный при $t_{нн}$ суммарному на отопление и среднему на горячее водоснабжение). Поскольку $W_d(t_n)$ является стабильным, находим, в каком приближении $W_{dh}^{II}(t_n)$ совпадает с $W_d(t_n)$ при $t_{нн}$ (в рассматриваемом случае – во 2 - м приближении). Затем принимаем $W_{dh}^{II}(t_n)$ при низких t_n , равным устойчивому значению по результатам не менее 4 - х приближений, а вблизи $t_{нн}$ – в данном случае по результатам 2 - го приближения. Соответственно принимаем $Q_h^I(t_n)$, однако здесь вблизи $t_{нн}$ необходимо использовать результаты 3 - го приближения, т.к. $\varepsilon^I(t_n)$ определяется сразу после того как во 2 - м приближении уточняется значение $\tau_{c2}(t_n)$. После этого рассчитываются $Q_h^{II}(t_n)$, $\tau_{r2}(t_n)$, $\tau_{c2}(t_n)$, $\tau_2(t_n)$, $t_h^I(t_n)$ по вышеприведённым формулам.

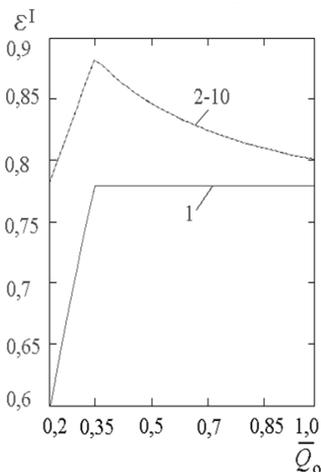


Рис. 4. Изменение характеристики подогревателя СГВ I ступени

Как показало проведенное исследование, в случае, когда не учитывается дополнительный расход сетевой воды на покрытие теплопотерь в системе циркуляции СГВ, то эквивалент расхода сетевой воды в подогревателе СГВ II ступени W_{dh}^{II} не превышает суммарный расход W_d . Поэтому величина W_{dh}^{II} может быть принята по результатам последнего приближения с задаваемой точностью.

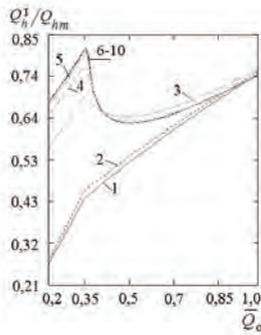


Рис. 5. Изменение тепловой мощности подогревателя СГВ I ступени

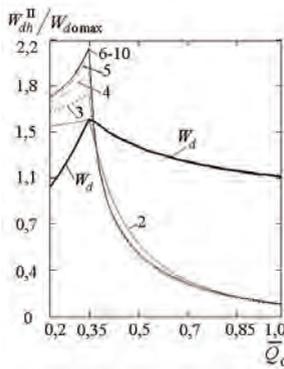


Рис. 6. Эквивалент расхода сетевой воды в подогревателе СГВ II ступени

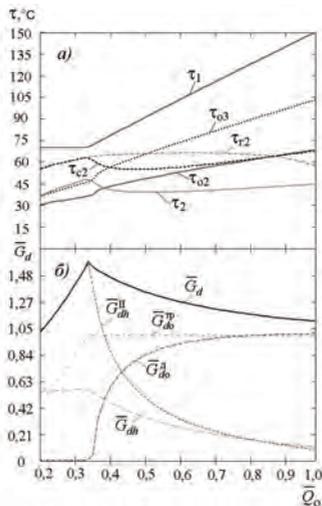


Рис. 7. Температуры и расходы сетевой воды в ТП

Результаты расчетов 3 - го приближения представлены на рис. 7. В рассмотренном случае принято $z = 6$ ч; $\beta = 45$ ч.

Характер зависимости $\tau_{c2} = f(\bar{Q}_o)$ (выпуклая кривая, рис. 7а) объясняется тем, что режим работы подогревателя II ступени зависит как от температуры, так и от расхода сетевой воды, проходящей через него. При снижении относительной отопительной нагрузки \bar{Q}_o увеличивается расход сетевой воды через подогреватель II ступени G_{dh}^{II} , что приводит к повышению τ_{c2} несмотря на снижение температуры воды в подающей линии тепловой сети τ_1 . После точки излома уменьшается расход сетевой воды через подогреватель и несколько снижается τ_{c2} . Температура смешанной воды на входе в подогреватель I ступени $\tau_{c2} = f(\bar{Q}_o)$ зависит от соотношения температур и расходов смешивающихся потоков теплоносителя после подогревателя СГВ II ступени и после системы отопления, формула (59). Когда $G_{do}^{II} > G_{dh}^{II}$ (рис. 7б), величина τ_{c2} снижается при снижении \bar{Q}_o ; при $G_{do}^{II} < G_{dh}^{II}$, τ_{c2} возрастает. После точки излома температурного графика при максимальном водоразборе, когда $G_{dh}^{II} = G_{do}^{II}$ величины τ_{c2} и τ_{c1} совпадают.

Аналогичный характер имеет зависимость температуры воды, возвращаемой в тепловую сеть после I ступени подогревателя СГВ $\tau_2 = f(\bar{Q}_o)$. Доля тепловой нагрузки СГВ, снимаемая с подогревателя II ступени, как правило, возрастает при снижении относительной отопительной нагрузки \bar{Q}_o , т.е. при снижении τ_1 . При этом уменьшается тепловая мощность подогревателя I ступени. Однако зависимость $Q_h^I / Q_{hm} = f(\bar{Q}_o)$ имеет не монотонный характер, а изменяется по некоторой вогнутой кривой (рис. 5). В области малых значений \bar{Q}_o (вблизи точки излома температурного графика), когда снижение \bar{Q}_o приводит к резкому увеличению расхода сетевой воды через подогреватель II ступени, повышается τ_{c2} , что несколько снижает тепловую нагрузку подогревателя II ступени и увеличивает нагрузку подогревателя I ступени. После точки излома уменьшается расход сетевой воды G_{do} , что приводит к повышению тепловой мощности подогревателя II ступени и, соответственно, к снижению тепловой мощности подогревателя I ступени.

б) Определим действительное изменение параметров подогревателей.

Температурный напор в подогревателе I ступени:

$$\Delta t^I(t_H) = \frac{(\tau_2 - t_c) - (\tau_{c2} - t_h^I)}{\ln \frac{\tau_2 - t_c}{\tau_{c2} - t_h^I}}. \quad (67)$$

Произведение текущего значения коэффициента теплопередачи на площадь подогревателя I ступени:

$$k^I F^I(t_H) = \frac{Q_h^I}{\Delta t^I}. \quad (68)$$

Параметр подогревателя I ступени:

$$\Phi^I(t_H) = \frac{k^I \cdot F^I}{\sqrt{W_h^I \cdot W_d}}. \quad (69)$$

Аналогично, для II ступени:

$$\Delta t^{II}(t_H) = \frac{(\tau_{r2} - t_h^I) - (\tau_1 - t_h)}{\ln \frac{\tau_{r2} - t_h^I}{\tau_1 - t_h}}. \quad (70)$$

$$k^{\text{II}} F^{\text{II}}(t_{\text{H}}) = \frac{Q_{\text{H}}^{\text{II}}}{\Delta t^{\text{II}}}; \quad (71)$$

$$\Phi^{\text{II}}(t_{\text{H}}) = \frac{k^{\text{II}} \cdot F^{\text{II}}}{\sqrt{W_{\text{H}}^{\text{II}} \cdot W_{\text{dh}}^{\text{II}}}}. \quad (72)$$

Для сравнения найдены произведения kF при использовании расчетных параметров подогревателей Φ^{P} .

Для I ступени:

$$k^{\text{I}} F^{\text{I}} = \Phi^{\text{Iр}} \sqrt{W_{\text{d}} \cdot W_{\text{H}}^{\text{I}}}; \quad (73)$$

для II ступени:

$$k^{\text{II}} F^{\text{II}} = \Phi^{\text{IIр}} \sqrt{W_{\text{dh}}^{\text{II}} \cdot W_{\text{H}}^{\text{II}}}. \quad (74)$$

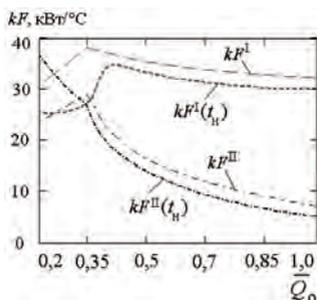


Рис. 8. Изменение kF

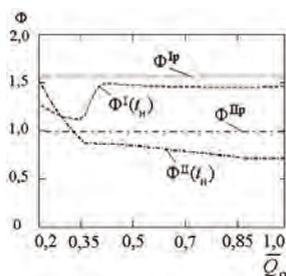


Рис. 9. Постоянные расчетные и действительные значения

Результаты расчетов показаны на рис. 8, 9. Параметр $\Phi^{\text{II}}(t_{\text{H}})$ равен расчетному при t_{min} . При t_{H} ниже t_{min} наблюдается некоторое отклонение от расчетного значения в связи с очень большим изменением $W_{\text{dh}}^{\text{II}}(t_{\text{H}})$. При t_{H} выше t_{min} отклонение связано с ограничением общего расхода из сети W_{d} , при этом вода во II ступени не догревается до 60°C . Значительное отклонение $\Phi^{\text{I}}(t_{\text{H}})$ от $\Phi^{\text{Iр}}$ при t_{H} выше t_{min} объясняется тем, что через подогреватель II ступени проходит весь расход сетевой воды W_{d} , поэтому в I ступень входит вода с высокой температурой $\tau_{\text{c2}}(t_{\text{H}})$, что снижает коэффициент теплопередачи подогревателя I ступени.

По найденным переменным параметрам работы ТП: $\Phi^{\text{I}}(t_{\text{H}})$ и $\Phi^{\text{II}}(t_{\text{H}})$ может быть произведен расчет совместных режимов работы систем отопления и горячего водоснабжения при переменном водоразборе по точным экспоненциальным выражениям.

Безразмерная характеристика противоточных подогревателей СГВ I степени:

$$\varepsilon^I(t_n) = \frac{1 - \exp\left[\frac{-k^I F^I}{W_M} \cdot \left(1 - \frac{W_M}{W_6}\right)\right]}{1 - \frac{W_M}{W_6} \cdot \exp\left[\frac{-k^I F^I}{W_M} \cdot \left(1 - \frac{W_M}{W_6}\right)\right]} \leq 1, \quad (75)$$

где W_M , W_6 – меньший и больший эквиваленты расходов нагреваемой W_h^I и сетевой W_d воды в подогревателе.

Тепловая мощность подогревателя I степени $Q_h^I(t_n)$ рассчитывается по формуле (45), где $\nabla^I(t_n)$ рассчитан по формуле (53). Для определения температурного напора в подогревателе II степени $\Delta t^II(t_n)$, необходимо найти температуру нагреваемой воды после I степени подогревателя СГВ $t_h^I(t_n)$ по формуле (61).

Безразмерная характеристика подогревателя СГВ II степени [43]:

$$\varepsilon^{II}(t_n) = \frac{1 - \exp\left[\frac{-k^{II} F^{II}}{W_M} \cdot \left(1 - \frac{W_M}{W_6}\right)\right]}{1 - \frac{W_M}{W_6} \cdot \exp\left[\frac{-k^{II} F^{II}}{W_M} \cdot \left(1 - \frac{W_M}{W_6}\right)\right]} \leq 1. \quad (76)$$

Далее определяется максимальная разность температур на входе в подогреватель II степени $\nabla^{II}(t_n)$ по формуле (55). По найденным $Q_h^{II}(t_n)$ и $\nabla^{II}(t_n)$ можно определить расход сетевой воды в подогревателе II степени в зависимости от соотношения расходов греющего и нагреваемого теплоносителей.

а) если эквивалент расхода нагреваемой воды больше, чем греющей ($W_h^{II} \geq W_{dh}^{II}$, т.е. $W_{dh}^{II} = W_M$), то расход сетевой воды в подогревателе предлагается определить на основе формулы (43):

$$W_{dh}^{II}(t_n) = \frac{Q_h^{II}}{\varepsilon^{II} \nabla^{II}}; \quad (77a)$$

б) если эквивалент расхода греющей воды больше, чем нагреваемой ($W_{dh}^{II} > W_h^{II}$, $W_{dh}^{II} = W_6$), то расход сетевой воды предлагается определить, используя текущее значение параметра подогревателя:

$$W_{dh}^{II}(t_n) = \left(\frac{k^{II} F^{II}}{\Phi^{II}}\right)^2 \frac{1}{W_M} = \left(\frac{k^{II} F^{II}}{\Phi^{II}}\right)^2 \frac{\varepsilon^{II} \nabla^{II}}{Q_h^{II}}. \quad (77б)$$

Температура сетевой воды после подогревателя II степени $\tau_{r2}(t_n)$ определяется по формуле (56).

Аналогично, для подогревателя I степени:

$$W_d(t_n) = \left(\frac{k^I F^I}{\Phi^I}\right)^2 \frac{\varepsilon^I \nabla^I}{Q_h^I}. \quad (78)$$

После этого можно уточнить эквивалент расхода сетевой воды на горячее водоснабжение $W_{dh}(t_n)$, температуры сетевой воды на входе в подогреватель I степени

$\tau_{c2}(t_n)$, сетевой воды на выходе из подогревателя I ступени $\tau_2(t_n)$, нагреваемой воды после I ступени $t_h^I(t_n)$ и после II ступени $t_h(t_n)$ подогревателя СГВ по формулам (58 - 62).

8. Сравнение результатов расчета с эксплуатационными данными

Основными показателями работы системы теплоснабжения, являются расход воды в тепловых сетях G_d и температура воды, возвращаемой на источник теплоты τ_2 . Проведём проверку предложенной расчетной методики по этим показателям.

Для исследования и сравнения расчетных и эксплуатационных режимов использованы исходные и эксплуатационные данные из [9] для ЦТП, обслуживающего семь жилых зданий с общим числом жителей 1900 человек, $\psi=0,3$. Расчетные характеристики ЦТП:

расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления: $t_{но}^- = -25$ °C;

расчетная температура внутреннего воздуха: $t_{вп}=18$ °C;

расчетная температура воды в подающей магистрали тепловой сети:

$\tau_1^p=150$ °C;

расчетная температура воды в подающей магистрали системы отопления:

$\tau_{o3}^p=120$ °C;

расчетная температура воды в обратной магистрали системы отопления:

$\tau_{o2}^p=70$ °C;

максимальный расход тепла на отопление: $Q_{o\max}=2200$ кВт;

средний расход тепла на ГВС: $Q_{гв}=670$ кВт;

максимальный часовой расход водопроводной воды на ГВС: $q_{гв}^h=17,5$ м³ / ч;

расход водопроводной воды на ГВС в средние сутки: $q_{гв}^h=8$ м³ / ч;

средний расход сетевой воды на ГВС: $G_{гвм}=8,9$ т / ч;

температура воды в холодном водопроводе: $t_c=5$ °C;

температура воды на горячее водоснабжение: $t_h=55$ °C;

коэффициент теплопотерь: $K^t=0,2$;

расчетный недогрев водопроводной воды в подогревателе СГВ I ступени: $\delta t^{пв}=5$ °C.

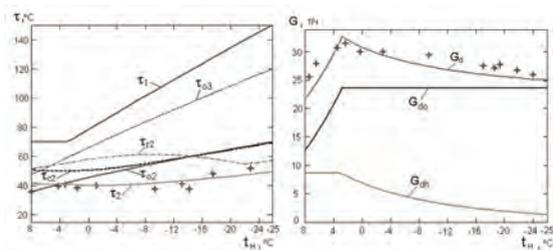


Рис. 10. Результаты расчета режимов ЦТП в сравнении с эксплуатационными данными [9]

Результаты расчета в сравнении с эксплуатационными данными [9] (точки τ_2 и G_d) представлены на рис. 10.

Сравнение кривых $\tau_2(t_n)$ и $G_d(t_n)$ на рис. 10 с эксплуатационными данными, показывает достаточно высокую точность предложенной методики расчета. Значения эксплуатационных данных τ_2 достаточно близко совпадают с расчетными значениями в пределах погрешностей расчета и эксплуатационных данных.

9. Моделирование оптимальных режимов ПП при высоких температурах наружного воздуха

Принимаемое по СП [42] регулирование нагрузки горячего водоснабжения только по температуре горячей воды t_h вызывает нарушения работы системы отопления и завышенную температуру обратной воды в тепловой сети τ_2 .

При высоких температурах наружного воздуха часто наблюдается нерациональный расход тепловой энергии из тепловой сети.

9.1. Типовые режимы ЦТП при максимальном водоразборе

Эксплуатационные режимы при высоких температурах наружного воздуха рассчитывались для того же ЦТП. На рис. 11 представлены полученные по разработанной методике результаты расчета режимов ЦТП в диапазоне температур от $t_{н0}$ до $t_{нк} = +8^\circ\text{C}$ в условиях максимального водоразбора G_{lmax} . На рис. 11б показано распределение расхода воды из тепловой сети между системами отопления и СГВ в сравнении с эксплуатационными данными [10]. Как видно, в 1 - м диапазоне $t_{н}$ при максимальном водоразборе на горячее водоснабжение в подогревателе II ступени используется расход сетевой воды G_{dh}^{II} , значительно превышающий средний расход G_{dh} , подаваемый тепловой сетью на обеспечение нагрузки горячего водоснабжения, а в систему отопления поступает уменьшенное количество сетевой воды. При требуемом расходе G_{do}^{TP} действительный расход сетевой воды $G_{do} = G_d - G_{dh}^{II}$, поступающей в систему отопления, уменьшается почти до нуля. Кроме того, $G_{do} < G_{do}^{TP}$ также в некотором интервале температур значительно ниже точки излома температурного графика $t_{ин}$. Поэтому, при длительном водоразборе температура внутреннего воздуха t_b в отапливаемых зданиях может уменьшиться значительно ниже допустимой.

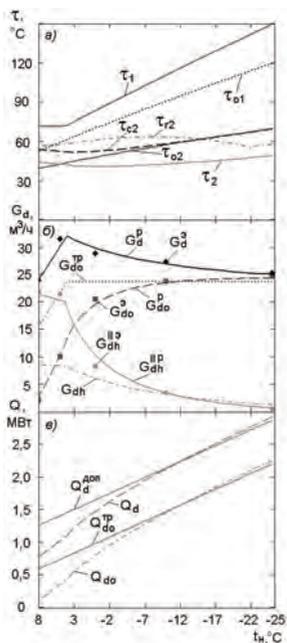


Рис. 11. Режимы работы теплового пункта при традиционном способе регулирования (по СП [42])

На рис. 2.11в показана тепловая мощность системы теплоснабжения: Q_d^{TP} – располагаемая мощность источника теплоты для системы теплоснабжения; Q_d^A – действительное количество тепла, используемое на системы отопления и СГВ; Q_{do}^{TP} и Q_{do}^A – требуемое и действительное количество тепла, поступающее из тепловой сети в систему отопления.

Из рис. 11в можно видеть, что располагаемая тепловая мощность на вводе используется не полностью: $Q_d^A < Q_d^{TP}$ вследствие уменьшения подачи тепла в систему отопления, т.е. появления дефицита $\Delta Q_{do} = Q_{do}^{TP} - Q_{do}^A$ вследствие неоптимальности регулирования. То же самое можно заметить на рис. 13: в часы, когда система отопления не получает тепло из сети $Q_{do}=0$, $G_{do}=0$, также $Q_d^A < Q_d^{TP}$. Тепловая нагрузка подогревателей СГВ в рассмотренном случае меньше, чем системы отопления, поэтому, в сеть возвращается вода с завышенной температурой (τ_2 в 1 - м диапазоне t_H может быть даже выше, чем была бы после системы отопления τ_{o2} , как видно на рис. 11а). В работе [24] также отмечается нерациональность работы типовой двухступенчатой схемы с ограничением G_d при $t_H \geq t_{Hн}$, когда резко сокращается расход воды во внутриквартальных сетях отопления и при этом возрастает температура обратной воды τ_2 из ЦТП, нередко превышая даже температуру обратной воды τ_{o2} из систем отопления.

На рис. 12 показана зависимость расхода сетевой воды на систему отопления G_{do} при изменении тепловой мощности подогревателя СГВ II ступени (и, следовательно, расхода сетевой воды G_{dh}^{II} через подогреватель II ступени) при высоких t_H . В условиях эксплуатации G_d несколько выше расчетных значений. Видно значительное сокращение G_{do} при увеличении водоразбора. При $t_H^{нл} = 15^\circ\text{C}$ требуется дополнительное увеличение расхода сетевой воды G_{do} , используемой для нагрева воды на горячее водоснабжение, при этом в систему отопления вода из теплосети не поступает.

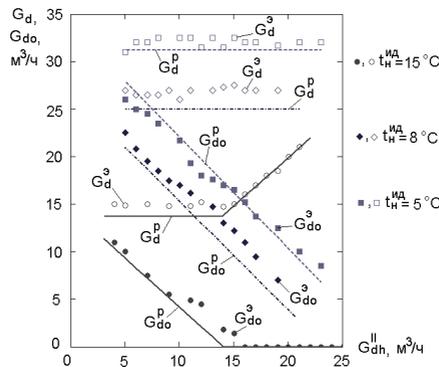


Рис. 12. Зависимость расхода сетевой воды на ЦТП G_d и систему отопления G_{do} от расхода на II ступень подогревателя СГВ. Эксплуатационные данные приняты по [10], индекс «р» – расчетные значения; «э» – эксплуатационные данные.

Для расчета переменных суточных режимов ЦТП использовались временные зависимости текущих значений из [10]: наружной температуры по инерционному датчику $t_n^{инд}(z)$; температуры воды в подающей магистрали $\tau_1(z)$; расхода воды в тепловой сети $G_d(z)$; величины водоразбора $G_h^I(z)$; температуры циркуляционной воды $t^{cir}(z)$.

При проектировании программируемых регуляторов, следует учитывать, что входные параметры $t_n(z)$, $G_h^I(z)$, $t^{cir}(z)$ должны измеряться, а требуемый оптимальный расход сетевой воды $G_d(z)$ должен устанавливаться самим регулятором расхода.

Режимы работы ЦТП при переменном водоразборе в течение суток при средней $t_n^{инд}=11,5$ °С приведены на рис. 13:

а) t_n – текущая температура наружного воздуха; $t_n^{инд}$ – температура наружной среды, измеренная инерционным датчиком;

б) τ – температуры сетевой воды;

в) t_h^I , t_h^{II} , t^{cir} – температуры нагреваемой воды в I, II ступенях подогревателей ГВС и в циркуляционном трубопроводе;

г) G_h^I , G_h^{II} – расходы нагреваемой воды в I и II ступенях подогревателей СГВ;

д) G_d – расходы сетевой воды;

е) Q_h^I – тепловая мощность I ступени подогревателя; Q_h – суммарная системы ГВС; $Q_{до}$ – действительная и $Q_{до}^{тп}$ – требуемая тепловая мощность системы отопления; Q_d – действительная и $Q_d^{доп}$ – допустимая тепловая мощность тепловой сети.

На рис. 13 видно хорошее совпадение значений, рассчитанных по предложенной методике, с эксплуатационными данными [10]. Некоторые расхождения можно объяснить следующими причинами:

- регулирование по температуре наружного воздуха $t_n^{инд}$, измеряемой инерционным датчиком, которая, как видно на рис. 13а, не совпадает с действительной наружной температурой t_n ;

- теплотери во II ступени подогревателя СГВ учитываются в разработанной методике в соответствии с СП [42] за счет увеличения G_{dh}^{II} ; в условиях эксплуатации [10] теплотери учитываются за счет увеличения температуры воды на горячее водоснабжение t_h ;

- загрязнение подогревателей, особенно кожухотрубных, установленных в рассматриваемом ЦТП, снижает их тепловую мощность, что вызывает снижение τ_2 (рис. 13б). В рассматриваемой методике загрязнение подогревателей учитывается коэффициентом при проектировании их требуемой площади. Устанавливаемые в настоящее время пластинчатые подогреватели легко очищаются от накипи и загрязнений;

- в ходе расчета местное регулирование «осуществляется» поддержанием требуемых значений $\tau_{о1}$ и t_b ; в условиях эксплуатации регулирование производится только по t_n , без поддержания $\tau_{о1}$, что вызывает некоторое отклонение температур воды в системе отопления.

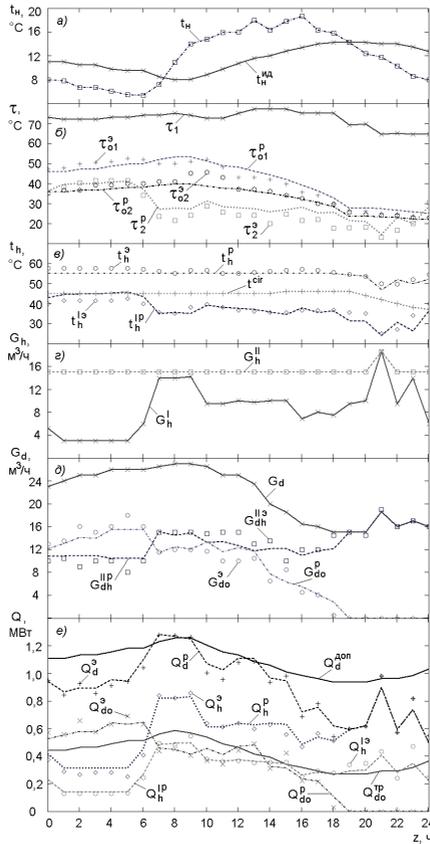


Рис. 13. Суточный режим работы ЦТП при средней $t_{н}^{пл} = +11,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Эксплуатационные данные приняты по [10], индекс «р» – расчетные значения; «э» – эксплуатационные данные.

Сравнение расчетных данных, полученных по разработанной методике, показало хорошую сходимость с эксплуатационными данными [10], рис. 11 - 13. Это позволяет использовать разработанную методику расчета режимов теплового пункта [29] как основу для поиска путей более рационального использования тепловой энергии.

9.2. Типовые режимы работы тепловых пунктов с различным соотношением нагрузок отопления и горячего водоснабжения

Рассмотрим типовые режимы ТП с двухступенчатой схемой и с различным соотношением ψ , в зависимости от относительной нагрузки отопления $\overline{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_{0\max}}$, рис. 2.

$\overline{Q}_0 = 1$ при $t_{н0}$ – температуре наружного воздуха для расчета отопления и уменьшается при повышении температуры наружного воздуха, а также зависит от ряда других факторов: действительной температуры воды в подающей магистрали теплосетей и системы

отопления, потерь тепла при изменении скорости ветра, инфильтрации, бытовых тепловыделений [31].

Как видно из рис. 14а, чем больше соотношение ψ , т.е. чем больше нагрузка СГВ по отношению к отопительной, тем ниже температура возвращаемой воды τ_2 . В то же время, при небольшом соотношении ψ после точки излома наблюдается высокая температура τ_2 , превышающая даже τ_{02} .

Однако, как видно на рис. 14б, чем выше ψ , тем больший расход сетевой воды G_{dh}^{II} поступает в подогреватель СГВ II ступени при водоразборе выше среднего, а в систему отопления поступает уменьшенное количество сетевой воды G_{do} (постоянный расход воды в системе отопления поддерживается работой смесительных насосов, подмешивающих воду из обратной магистрали системы отопления). При больших ψ расход из сети в систему отопления может уменьшиться даже до нуля, и система отопления будет работать только на обратной воде.

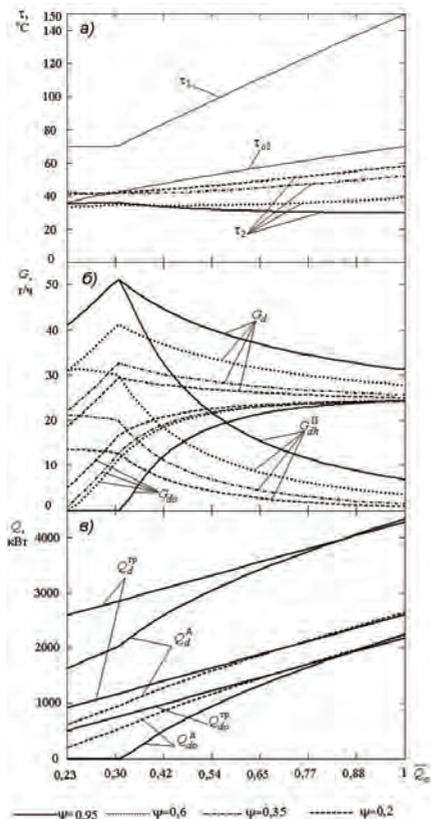


Рис. 14. Режимы работы ТП при традиционном способе регулирования и различном соотношении ψ .

Для устранения дефицита теплоты, поступающей в систему отопления в соответствии с требованиями энергосбережения, применяется повышение теплоустойчивости зданий, иными словами, увеличивается толщина стен за счет применения эффективных утеплителей. Таким образом, при небольшом водоразборе в СГВ или его отсутствии, система отопления восстанавливает свою тепловую мощность.

В то же время, как видно из рис. 14е, располагаемая тепловая мощность на вводе используется не полностью: $Q_d^I < Q_d^{TP}$ вследствие уменьшения подачи теплоты в систему отопления, т.е. появления дефицита $\Delta Q_{do} = Q_{do}^{TP} - Q_{do}^I$. И чем выше ψ , тем больше дефицит теплоты, то есть тепловые сети способны подать большее количество теплоты, чем может быть использовано в ТП. Часть теплового потенциала просто теряется вследствие неоптимальности регулирования.

9.3. Методика расчета рациональных режимов

Требуемый эквивалент расхода сетевой воды на ввод ЦТП, не превышающий максимального расчетного, для обеспечения требуемой тепловой мощности системы отопления, можно определить, используя график тепловых потоков на рис. 11б:

$$W_d(t_n) = \frac{Q_{do}^{TP} + \Delta Q_{do}}{\tau_1 - \tau_{o2}} + W_{dh} \leq W_{dmax}, \quad (79)$$

где W_{dh} – эквивалент расхода на горячее водоснабжение из тепловой сети; W_{dmax} – расчетный эквивалент расхода сетевой воды, принимающий максимальное значение при t_{min} . Однако при регулировании расхода сетевой воды на горячее водоснабжение в подогревателе II ступени только по температуре горячей воды t_h , почти весь расход сетевой воды будет использоваться на горячее водоснабжение (вследствие постоянства τ_1 при наибольшем W_{dh}^{II} в этот период). Тепловая мощность источника теплоты и в этом случае будет использована не полностью в течение большей части отопительного сезона.

По результатам проведенных расчётов можно сделать вывод, что для рационального использования тепловой энергии в данной схеме требуется система регулирования с программным управлением отпуска тепла системам горячего водоснабжения и отопления. Для задания программы необходимо определить эквивалент расхода сетевой воды, проходящей через подогреватель II ступени $W_{dh}^{II TP}$, и температуру воды, возвращаемой в тепловую сеть τ_{r2}^{TP} , при которой тепловая мощность системы теплоснабжения будет использована полностью и, следовательно, тепловой режим системы отопления не будет зависеть от работы СГВ. При этом необходимо учитывать условие, что согласно [42], подогреватель II ступени был рассчитан на пропуск всего расхода сетевой воды W_{dmax} в точке излома при t_{min} и, следовательно, имеет уменьшенную площадь.

Примем во внимание, что в подогревателе II ступени использовался большой расход сетевой воды W_{dh}^{II} при небольшом перепаде температур сетевой воды $\tau_1 - \tau_{r2}$. Поэтому задачами программы системы автоматического регулирования являются: уменьшение расхода сетевой воды через подогреватель II ступени $W_{dh}^{II TP}$, за счет

увеличения перепада температур в подогревателе $\tau_1 - \tau_{r2}^{TP}$ и использование расхода $W_d - W_{dh}^{II TP}$ для системы отопления.

Определим температуру воды после подогревателя I ступени τ_2^{TP} , которую необходимо возвращать в тепловую сеть из условия, что в системе будет использован весь требуемый расход тепла Q_d^{TP} :

$$\tau_2^{TP}(t_n) = \tau_1 - \frac{Q_d^{TP}}{W_d} \quad (80)$$

Поскольку тепловая мощность I ступени подогревателя Q_h^I и расход сетевой воды через подогреватель такие же, как и при традиционном способе регулирования, можно найти требуемую температуру смешанной воды на входе в подогреватель I ступени:

$$W_d(t_n) = \frac{Q_h^I}{\tau_{c2}^{TP} - \tau_2^{TP}} \Rightarrow \tau_{c2}^{TP}(t_n) = \tau_2^{TP} + \frac{Q_h^I}{W_d} \quad (81)$$

Для определения требуемого эквивалента расхода сетевой воды в подогревателе II ступени $W_{dh}^{II TP}$ и требуемой температуры сетевой воды τ_{r2}^{TP} на выходе из подогревателя II ступени составим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} W_{dh}^{II TP}(t_n) &= \frac{Q_h^{II}}{\tau_1 - \tau_{r2}^{TP}} \\ \tau_{c2}^{TP}(t_n) &= \frac{W_d - W_{dh}^{II TP}}{W_d} \cdot \tau_{o2} + \frac{W_{dh}^{II TP}}{W_d} \cdot \tau_{r2}^{TP} \end{aligned} \right\} \quad (82)$$

Из решения системы (82) получим выражение (83) для определения τ_{r2}^{TP}

$$\tau_{r2}^{TP}(t_n) = \frac{(\tau_{c2}^{TP} - \tau_{o2}) \cdot \frac{W_d}{Q_h^{II}} \cdot \tau_1 + \tau_{o2}}{1 + (\tau_{c2}^{TP} - \tau_{o2}) \cdot \frac{W_d}{Q_h^{II}}}, \quad (83)$$

величина $W_{dh}^{II TP}$ находится подстановкой в первое уравнение системы (82).

Результаты расчёта по приведённым формулам (79 - 83) представлены на рис. 15 для всего отопительного периода. Можно заметить, что в точке $t_{ни}$ температура воды после подогревателя II ступени τ_{r2}^{TP} равна температуре после системы отопления τ_{o2} . Это показывает рациональность использования тепловой энергии при таком способе регулирования (в этом случае $Q_{do}^I = Q_{do}^{TP}$, $Q_d^I = Q_d^{TP}$). Расход сетевой воды для систем отопления G_{do} также равен требуемому G_{do}^{TP} .

Во 2 - м диапазоне t_n расход воды для СГВ, используемый в подогревателе II ступени, равен среднему расходу, подаваемому тепловой сетью G_{dh} . В 1 - м диапазоне t_n расход сетевой воды на СГВ в подогревателе II ступени выше среднего, однако, суммарный расход из тепловой сети не превышает расчетного, определенного при $t_n = t_{ни}$. Можно заметить, что в течение всего отопительного периода осуществляется нормальная (несвязанная) подача тепла в системы отопления и горячего водоснабжения.

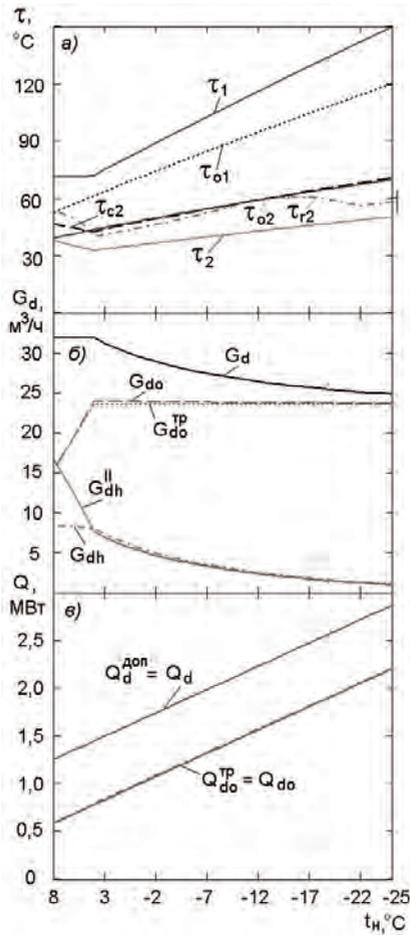


Рис. 15. Режимы работы ТП при программном регулировании тепловых потоков и расходов сетевой воды для систем отопления и СГВ.

9.4. Режимы для настройки регулятора температуры воды для СГВ

Регулирование режимов работы теплового пункта на основе предложенной методики необходимо производить по расходу сетевой воды в подогревателе СГВ II ступени G_{dh}^{II} , поскольку именно этот расход определяет совместную работу систем горячего водоснабжения и отопления. Температура воды в подающей магистрали тепловой сети зависит от работы источника теплоты, теплопотерь в тепловых сетях и утечек сетевой воды, поэтому на входе в тепловой пункт она может не соответствовать требуемой температуре $\tau_1^{TP} = f(t_n)$, определяемой по закону качественного регулирования нагрузки отопления, т.е. $\tau_1^{II} \neq \tau_1^{TP}$. Произвольность τ_1^{II} вызывает неопределённость значений температур в различных трубопроводах теплового пункта. Однако, $G_{dh}^{II} \neq f(t_n)$, т.е. $G_{dh}^{II} \neq f(\tau_1, \tau_{r2})$. Значение G_{dh}^{II}

зависит от параметра подогревателя Φ^{II} , температурных напоров сетевой $\Delta\tau^{\text{II}}$ и нагреваемой $\Delta\tau^{\text{I}}$ воды в подогревателе. Типовой регулятор температуры (РТ) воды на СГВ изменяет расход сетевой воды через подогреватель G_{dh}^{II} по сигналу t_h – температуры нагреваемой воды на выходе из подогревателя (точка *a* на рис. 1) и рассчитывается на пропуск суммарного расхода на отопление и СГВ (G_d) при максимальном водоразборе в 1 - м диапазоне t_h . Однако, поскольку $\Delta\tau^{\text{II}} = \tau_{1-} - \tau_{12} \neq f(t_h)$, регулирование должно производиться по температурному перепаду $\Delta\tau^{\text{II}}$. Кроме того, по сигналам температур τ_1^{I} (точка *b* на рис. 1), τ_{12} (точка *в* на рис. 1) и t_h (точка *a* на рис. 1) должен ограничиваться расход сетевой воды с температурой τ_1^{I} через регулятор РТ до расхода $G_{dh}^{\text{II TP}}$, определённого для каждой t_h по разработанной методике.

Гидравлическое сопротивление РТ необходимо автоматически изменять при всех нагрузках СГВ и температурах τ_1 . В данной схеме ТП (рис. 1) в точке 1 сетевая вода делится на два потока: через подогреватель II ступени СГВ и через систему отопления. В точке 2 оба потока встречаются и направляются в подогреватель СГВ I ступени, а затем – в тепловую сеть. Запишем в общем виде уравнение потерь напора ΔH , для обоих потоков, пренебрегая потерями в трубопроводах ЦТП:

$$\Delta H_{\text{PP}} + \Delta H_{\text{PT}} + \Delta H_{\text{II}}^{\text{II}} + \Delta H_{\text{I}}^{\text{I}} = \Delta H_{\text{PP}} + \Delta H_{\text{PO}} + \Delta H_{\text{CO}} + \Delta H_{\text{II}}^{\text{I}}, \quad m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (84)$$

После сокращения подобных членов и принимая общее сопротивление отопительного регулятора и системы отопления $\Delta H_{\text{PO}} + \Delta H_{\text{CO}} = \Delta H_{\text{O}}$, получим:

$$\Delta H_{\text{PT}} + \Delta H_{\text{II}}^{\text{II}} = \Delta H_{\text{O}}. \quad (85)$$

Поскольку $\Delta H = S G^2$, где S – характеристика сопротивления, $m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{ч}^2 / \text{м}^6$, можно записать:

$$S_{\text{PT}} G_{dh}^{\text{II}^2} + S_{\text{II}}^{\text{II}} G_{dh}^{\text{II}^2} = S_{\text{O}} G_{do}^2, \quad (86)$$

$$\text{где } G_{do} = G_d - G_{dh}^{\text{II}}.$$

Зная зависимости G_{dh}^{II} и G_d от t_h можно определить требуемое минимальное гидравлическое сопротивление программируемого регулятора температуры РТ:

$$S_{\text{PT}}^{\text{min}}(t_h) = S_{\text{O}} \left[\frac{G_d(t_h)}{G_{dh}^{\text{II}}(t_h)} - 1 \right]^2 - S_{\text{II}}^{\text{II}}. \quad (87)$$

Тогда необходимый перепад давлений на клапане программируемого РТ, МПа, можно определить по формуле

$$\Delta P(t_h) = g \cdot \rho \cdot S_{\text{PT}}^{\text{min}}(t_h) \cdot G_{dh}^{\text{II}^2}(t_h) \cdot 10^{-6}, \quad (88)$$

где g – ускорение свободного падения, м / с².

9.5. Основные выводы

1. Рассмотрена возможность повышения эффективности использования тепловой энергии в тепловых пунктах с ограничением расхода сетевой воды.
2. Предложена новая методика расчета режимов теплового пункта при высоких t_h отопительного периода.
3. Рекомендована новая схема регулирования СГВ, обеспечивающая рациональные режимы ТП закрытых систем теплоснабжения.

4. Предложенную методику расчёта можно применять как для проектирования, так и в условиях действующих тепловых пунктов, поскольку не требуется изменения площади подогревателей СГВ.

5. Рациональное регулирование теплового режима установок с двухступенчатой смешанной схемой подогревателей СГВ с ограничением расхода может сделать эту схему наиболее эффективной, поскольку в этом случае при значительно уменьшенной площади подогревателей СГВ может осуществляться нормальная подача тепла в системы отопления и горячего водоснабжения.

10. Особенности совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения в условиях значительного снижения температур наружного воздуха

Анализируется влияние отклонений параметров в тепловой сети на режимы работы систем инженерного оборудования жилых зданий, в первую очередь на отопление, формирующее тепловой режим помещений. Рассматриваются последствия снижения температуры воды в теплосети при экстремальных погодных условиях в некотором диапазоне ниже расчетной температуры наружного воздуха и эффективность отключения в этот период подогревателя горячего водоснабжения. Анализ проведен на примере теплового пункта, обеспечивающего нагрузки отопления и горячего водоснабжения [30].

10.1. Причины и последствия критических ситуаций в теплоснабжении

При эксплуатации крупных систем централизованного теплоснабжения нередко наблюдаются нарушения нормальных режимов работы тепловых сетей. Надежность прохождения зимних нагрузок непосредственно зависит от технического состояния оборудования, износ которого на источниках теплоты и в тепловых сетях приближается по данным [22] к уровню 60 %.

Помимо аварийного состояния оборудования существует дефицит тепловой энергии, который для СЦТ Новосибирска, например, составляет около 20 % [41, 44], причем главная доля недостатка теплоты приходится на жилой сектор. СЦТ Новосибирска рассчитана на график регулирования тепла 150 - 70°C со срезкой на 114 - 70°C, однако с учетом дефицита топлива, сложившимся в последние годы, выработкой ресурса топлива максимальная температура нагрева теплоносителя не поднималась выше 85 - 90°C [23]. Срезку температурного графика можно рассматривать как частный случай несоответствия температуры теплоносителя t_1 в подающей магистрали тепловых сетей требуемой по графику центрального регулирования. Потребители теплоты, подключенные к теплофикационным системам, используют температурный потенциал сетевой воды не полностью (перепад температур в системах централизованного теплоснабжения, как правило, меньше расчетного на 15 - 20 % [21]). При этом отмечается, что на диапазоне наружных температур от - 12 до - 22°C при выдерживании расчетных расходов у потребителей температура внутри помещений может снизиться до 14 °С, у конечных потребителей до 10°C. При дальнейшем понижении температуры наружного воздуха температура внутри помещений будет значительно ниже 10°C [23, 41].

В настоящее время в качестве критерия безопасности функционирующей системы теплоснабжения города принимается её способность обеспечить температуру воздуха внутри отапливаемых жилых помещений $t_b=18...22^{\circ}\text{C}$. Возможность стояния температуры t_b ниже указанных значений в каких - либо ситуациях не предусмотрено государственными

нормативными документами [25]. Исследования механизма терморегуляции [26] показывают, что границей опасности для человека является температура t_b на уровне 14°C , поскольку при такой температуре ещё обеспечивается равновесие между теплопродукцией человека и его теплообменом с окружающей средой. В [19, 20] отмечается, что понижение температуры воздуха до $10\dots 12^\circ\text{C}$ становится крайне неблагоприятным для человека и является показателем критического теплового состояния здания, так как в этом случае создаются ещё и аварийные условия работы инженерного оборудования. Дальнейшее понижение температуры в жилых помещениях вплоть до 0°C характеризует катастрофическое тепловое состояние здания, при котором невозможна работа инженерных систем тепло- и водоснабжения [2].

Таким образом, нарушения теплоснабжения при низких температурах наружного воздуха являются особенно опасными и могут привести даже к аварийным ситуациям. Поэтому необходимо исследование особенностей работы местных теплопотребляющих систем в этих условиях, чтобы снизить вероятность отклонений и отказов в их работе.

10.2. Режимы совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения при низких наружных температурах

Снижение тепловой мощности системы отопления вызывают, также особенности схем автоматизации и принципы регулирования параметров теплоносителей в ТП.

1) Отопительный регулятор РО (рис. 1) настраивается на поддержание расхода воды из тепловой сети не более максимального расчетного $G_{do\max}$, обеспечивающего t_b^p при $t_{но}$. При снижении t_n ниже $t_{но}$, а также при «верхней» срезке температурного графика или отклонении температуры в теплосети τ_1 от требуемой τ_1^{TP} это приводит к недостаточной подаче теплоты в систему отопления и к снижению t_b .

2) Существующие схемы автоматизации тепловых пунктов проектируются таким образом, что вода из теплосети сначала используется для обеспечения нагрузки СГВ во II ступени подогревателя, где часто расходуется часть отопительного теплового потенциала, и только затем поступает в систему отопления. Это связано с большой неравномерностью водоразбора в системе горячего водоснабжения.

Указанные особенности работы ТП в условиях низких t_n , подтверждаются расчетом по предложенной методике, что можно видеть на рис. 16 - 18. При расчетном графике температур $150 - 70^\circ\text{C}$, температура τ_1 в теплосети находилась в пределах 130°C (τ_{1-1} на рис. 16а, τ_1 на рис. 18б). На рис. 16а рассчитан случай (линия τ_{1-2}) дополнительного снижения τ_1 за счет роста теплопотерь в системах транспортировки тепла к потребителю, вероятности смерзания твёрдого топлива на ТЭЦ и котельных и возможности их работы не на полную мощность. Регулятор РО перед системой отопления поддерживал постоянный расчетный расход воды из сети $G_{do} = G_{do\max}$ (рис. 16б, 18д) или даже меньше расчетного максимального $G_{do\max}$ при значительном водоразборе на горячее водоснабжение как видно на рис. 18г, 18д. Причем, как видно из рис. 16б, чем ниже τ_1 , тем больший расход сетевой воды G_{dh}^{II} требуется на подогреватель СГВ II ступени. Это происходит из-за того, что пониженная температура воды после системы отопления τ_{o2} (рис. 16а), снижает тепловую мощность подогревателя I ступени и соответственно, требуется увеличение тепловой мощности подогревателя СГВ II ступени, что заметно на рис. 16г по температуре нагреваемой воды после I ступени подогревателя СГВ t_n^I и II ступени подогревателя СГВ t_n .

Местное регулирование подачи теплоты в систему отопления осуществлялось поддержанием постоянного расхода воды, циркулирующего в системе отопления G_o . Для этого системой местного регулирования (регулятор перед системой отопления и смесительный насос, рис. 1) поддерживался постоянный коэффициент смешения u во 2 - м диапазоне наружных температур (при t_n ниже $t_{ин}$) при постоянном расходе воды из сети на отопление $G_{do} = G_{do\max}$ рис. 16в.

Режимы системы отопления рассчитывались по формулам (18 - 26). Как видно на рис. 17а, от точки верхней срезки начинается снижение тепловой мощности системы отопления Q_{do}^A по сравнению с требуемой Q_{do}^{TP} , даже при t_n выше $t_{но}$, что отмечается также в [20]. На рис. 18е можно видеть, что тепловая мощность системы отопления Q_{do} была всегда значительно ниже Q_{do}^{TP} при $G_{do} \leq G_{do\max}$. Это вызывает значительное снижение t_b (рис. 17б). Как видно из рис. 17а, 18е, тепловая мощность системы теплоснабжения используется не полностью, т.е. потребляемое количество тепла на системы отопления и СГВ Q_d меньше располагаемой (допустимой) тепловой мощности, которую могут обеспечить тепловые сети $Q_d^{доп}$, за счет появления дефицита теплоты для системы отопления ΔQ_{do} .

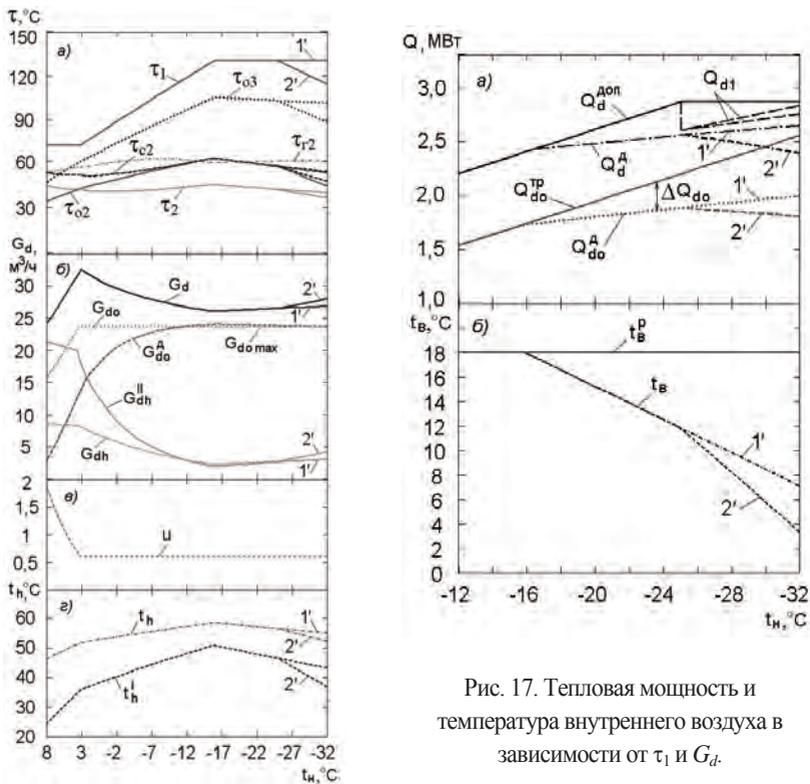


Рис. 17. Тепловая мощность и температура внутреннего воздуха в зависимости от τ_1 и G_d .

Рис. 16. Режимы работы ЦТП при традиционном способе регулирования.

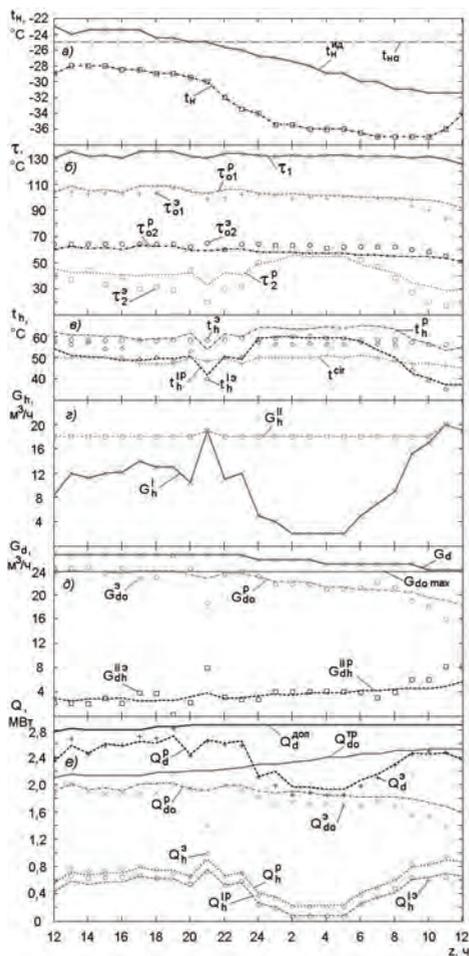


Рис. 18. Суточный режим работы ЦТП при средней $t_n^{\text{пл}} = -27$ °С. Эксплуатационные данные приняты по [10], индекс «р» – расчетные значения; «э» – эксплуатационные данные

10.3. Расчет режимов ТП без дефицита теплоты для системы отопления при низких наружных температурах

Допустимая тепловая мощность соответствует сумме расчетной нагрузки отопления $Q_{\text{омах}}$, определяемой при $t_{\text{но}}$, и средней нагрузки на СГВ $Q_{\text{лм}}$. Таким образом, при t_n ниже $t_{\text{но}}$, $Q_d^{\text{доп}}$ является постоянной величиной, меньше требуемой для нормальной совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения. Поскольку снижение t_n недопустимо, определим нагрузку СГВ (рис. 17а):

$$Q_h^{\text{доп}} = Q_d^{\text{доп}} - Q_{\text{до}}^{\text{р}}. \quad (89)$$

Видно, что при $t_n < t_{\text{но}}$, $Q_h^{\text{доп}} < Q_h$, где $Q_h = Q_h^{\text{I}} + Q_h^{\text{II}}$. Как отмечалось выше, вода из теплосети сначала поступает в подогреватель СГВ II ступени, поэтому целесообразно

сократить расход тепла на СГВ за счет отключения подогревателя СГВ II ступени. Тогда суммарная тепловая мощность ТП, Q_{d1} , составит:

$$\left. \begin{aligned} Q_{d1} &= Q_{do}^{TP} + Q_h \text{ при } t_n \geq t_{но}, \\ Q_{d1} &= Q_{do}^{TP} + Q_h^I \text{ при } t_n < t_{но} \end{aligned} \right\} \cdot (90)$$

При этом, как можно видеть из рис. 17а, возможна нормальная подача тепла в системы отопления и горячего водоснабжения даже при $\tau_1 \neq \tau_1^{TP}$ по отопительному графику, и пока температура не опустится ниже $t_{но}$, не требуется отключения подогревателя СГВ II ступени.

Суммарный расход сетевой воды на ввод ТП, $G_d(t_n, \tau_1)$, рис. 19б, определяется из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} G_d &= G_{do}^I + G_{dh}^{II} \text{ при } t_n > t_{но}, \\ G_d &= G_{do\max} + \Delta G_{do} + G_{dh}^{II} \text{ при } t_n \geq t_{но} \text{ и } \tau_1 < \tau_1^{TP}, \\ G_d &= (G_{do\max} + \Delta G_{do} + G_{dh}^I) \leq G_{d\max} \text{ при } t_n < t_{но} \text{ и } \tau_1 < \tau_1^{TP} \end{aligned} \right\} \cdot (91)$$

где ΔG_{do} – дополнительный расход из теплосети для системы отопления для устранения ΔQ_{do} .

Температура воды после системы отопления определится по формуле

$$\tau_{o2}(t_n) = \tau_1 - \frac{3,6 \cdot Q_{do}^{TP}}{c \cdot \rho (G_{do\max} + \Delta G_{do})}; \quad (92)$$

температура воды в системе отопления

$$\tau_{o3}(t_n) = \tau_{o2} + \frac{3,6 \cdot Q_{do}^{TP}}{c \cdot \rho \cdot G_o^p}, \quad (93)$$

где $G_o^p = \frac{3,6 \cdot Q_{o\max}}{c \cdot \rho (\tau_{o3}^p - \tau_{o2}^p)}$, м³ / ч – расход воды, циркулирующей в системе отопления,

который для поддержания гидравлической устойчивости системы отопления должен оставаться постоянным (расчетным) в течение всего отопительного периода. При увеличивающемся G_{do} , постоянный G_o^p поддерживается за счет уменьшения коэффициента смешения u (рис. 19б).

В работе [20] утверждается, что отключение только II ступени подогревателя СГВ нецелесообразно, поскольку температура воды в СГВ снижается до 10 - 25 °С и не может быть использована для СГВ, а также из-за того, что функционирование I ступени подогревателя СГВ приводит к дополнительному охлаждению сетевой воды, возвращаемой на источник теплоты, что вызывает необходимость увеличения расхода топлива. Как показало проведенное исследование, отключение подогревателя I ступени не имеет смысла, поскольку не увеличивает тепловой мощности системы отопления, но нарушает комфортные условия потребителей.

а) Как видно из рис. 19б, при достижении $G_{d\max}$ регулятор расхода РР на вводе ТП не допускает дальнейшего увеличения расхода сетевой воды на ввод. Значит, Q_{do} не может превысить значения, соответствующего $G_{d\max}$. При очень низких t_n или аварийном прекращении подачи теплоты некоторый дефицит подачи теплоты в систему отопления может всё-таки возникнуть, но $Q_{do} + Q_h^I$ не превысит Q_d^{30n} , поскольку Q_{do} увеличиваться

не будет, а Q_h^1 будет снижаться вследствие снижения τ_{o2} и уменьшения температурного напора в подогревателе. В аварийных условиях вода в I ступени будет нагреваться незначительно, поэтому подогреватель в этом случае можно отключить.

б) Температура нагреваемой воды после подогревателя I ступени t_h^1 составляет около 40°C (рис. 19г) при максимальном водоразборе, что подтверждается эксплуатационными данными, рис. 18в. Воду с такой температурой можно использовать для СГВ.

в) Температура воды, возвращаемой в тепловую сеть τ_2 , снижается в значительно меньшей степени, чем τ_1 (рис. 19а).

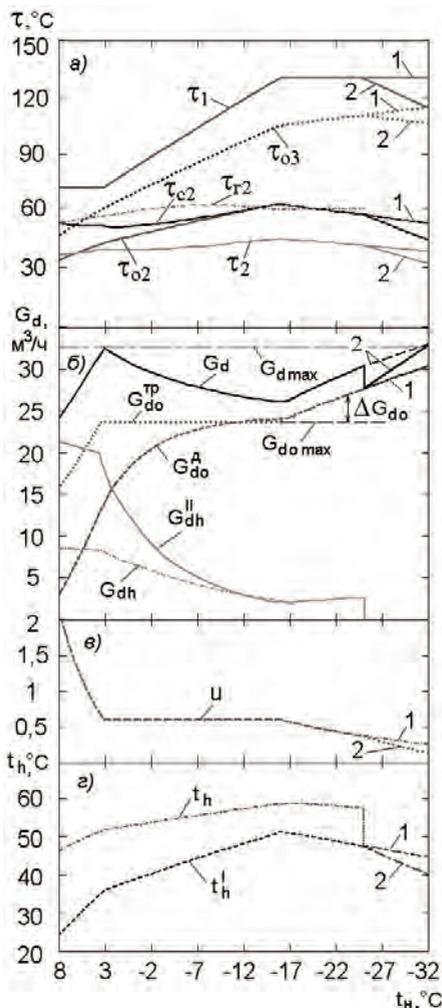


Рис. 19. Режимы работы ЦТП при увеличении G_{do} и отключении подогревателя СГВ II ступени

10.4. Особенности местного регулирования подачи теплоты в систему отопления. Некоторые рекомендации

1) Отключение подогревателя СГВ II ступени при $t_n < t_{н0}$ возможно осуществить в некоторых схемах ТП. В этих схемах регулятор расхода РР и отопительный регулятор РО имеют общий регулирующий клапан, который сокращает расход сетевой воды в систему отопления или полностью отключает её, при прохождении пика нагрузки на СГВ. Регулятор РО имеет датчики τ_1 , τ_{02} , t_n . Программируемый регулятор должен быть устроен так, чтобы при $t_n < t_{н0}$ срабатывало «устройство обратной связи», отключающее подогреватель СГВ II ступени.

2) Для устранения дефицита теплоты для системы отопления, необходимо, чтобы сопротивление отопительного регулятора РО (рис. 1) допускало увеличение расхода сетевой воды в систему отопления до G_{dmax} , начиная от точки верхней срезки температурного графика. В этом случае требуется местное регулирование системы отопления поддержанием графика разности температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе отопительных сетей $\Delta\tau(t_n) = \tau_1 - \tau_{02}$, который имеет линейный характер

$$\Delta\tau(t_n) = \tau_1 - \tau_{02} = \frac{3,6 \cdot \Delta Q_{do}}{c \cdot \rho \cdot \Delta G_{do}} = \frac{3,6 \cdot Q_{do}^{TP}}{c \cdot \rho \cdot G_{do}^{TP}}. \quad (94)$$

Главным преимуществом этого способа является то, что не требуется вычислять дополнительный расход сетевой воды для системы отопления ΔG_{do} ; системе регулирования достаточно поддерживать линейный график $\Delta\tau(t_n)$, при любой t_n , чтобы обеспечить Q_{do}^{TP} .

3) Начиная от t_n , соответствующей точке срезки температурного графика и ниже, необходима работа смесительных насосов для поддержания постоянного перепада давлений в подающей и обратной магистралях отопительных сетей (расхода) за счет уменьшения коэффициента смешения.

10.5. Основные выводы

1. Рассмотрены особенности совместной работы систем отопления и ГВС и определены отклонения в их работе при низких наружных температурах и при срезке температурного графика.

2. Предложена методика расчета режимов ТП в этих условиях, позволяющая устранить дефицит тепловой энергии в системе отопления.

3. Предложены рекомендации для построения схемы местного регулирования на основе разработанной методики.

11. Моделирование режимов работы ТП с двухступенчатой смешанной схемой присоединения подогревателей СГВ при повышенном температурном графике

Сокращение расхода воды в тепловой сети, используемого на обеспечение горячего водоснабжения, достигается следующими способами:

1) применением схем включения подогревателей СГВ, в которых для предварительного подогрева водопроводной воды используется теплота обратной магистрали (двухступенчатая смешанная и последовательная схемы);

2) ограничением максимального расхода сетевой воды на ввод ТП;

3) центральным регулированием по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный температурный график), что обеспечивает постоянный расход воды и повышает гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения.

При повышенном температурном графике в системе поддерживается постоянный расход сетевой воды, равный расчетному расходу на отопление. Для обеспечения нагрузки горячего водоснабжения подогрев воды на ТЭЦ производится до температуры более высокой, чем по отопительному графику.

Присоединение подогревателей СГВ при повышенном графике центрального регулирования должно выполняться по двухступенчатой последовательной схеме или по смешанной схеме с ограничением расхода. Согласно [42], расчет площади подогревателей СГВ и определение их характеристик в точке излома температурного графика для этих схем производится аналогично. Однако, исследование работы этих схем во всем диапазоне наружных температур, выявляет существенные отличия:

- в последовательной схеме сетевая вода остывает во II ступени подогревателя СГВ и поступает в систему отопления с температурой согласно отопительному графику, или близкой к ней; в смешанной схеме вода из II ступени подогревателя СГВ поступает в I ступень, а в систему отопления – вода с повышенной температурой из тепловой сети;

- в последовательной схеме поддерживается постоянный расход сетевой воды для системы отопления; в смешанной – переменный, в зависимости от нагрузки СГВ, покрываемой II ступенью подогревателя;

- II ступень подогревателя СГВ при последовательной схеме можно рассчитывать на пропуск всего отопительного расхода при максимальном водоразборе, что позволяет значительно уменьшить площадь подогревателя СГВ II ступени. В систему отопления в этом случае будет поступать вода с температурой выше или равной температуре воды в обратной магистрали. В смешанной схеме в этих условиях произойдет значительное уменьшение расхода сетевой воды для системы отопления как за счет ограничения расхода воды в тепловых сетях, так вследствие уменьшенной площади подогревателя. Уменьшение площади II ступени подогревателя СГВ смешанной схемы может привести в случае водоразбора выше среднего к преждевременному отключению системы отопления от тепловой сети и остыванию помещений. Поэтому необходимо рассчитывать площадь II ступени подогревателя из условия, что через него проходит только необходимый расход сетевой воды на СГВ.

11.1. Расчет повышенного графика центрального регулирования

Повышенный температурный график рассчитывается в соответствии с формулами, рекомендованными в [7] для последовательной схемы. Однако этот же график центрального регулирования применяется и для смешанной с ограничением расхода схемы.

Определяются перепады температур сетевой воды в подогревателях II и I ступеней последовательной схемы:

$$\delta 1(t_n) = \tau_1 - \tau_{01}; \delta 2(t_n) = \tau_{02} - \tau_2. (95a, б)$$

При постоянном расходе сетевой воды и при «балансовой» нагрузке СГВ Q_{hmб} суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях II и I ступеней δ – величина постоянная:

$$\delta(t_n) = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{hm}^{\delta}}{Q_o} \delta\tau_o^p = \text{const} \quad (96)$$

Точка излома повышенного графика $\tau_1(t_n)$ принимается в соответствии с [34], при t_n , соответствующей $t_{ни}$ отопительно - бытового графика.

Перепад температур сетевой воды в подогревателе I ступени в точке излома температурного графика $\delta_{2и}$ находится по формуле

$$\delta_{2и} = \frac{Q_{hm}^{\delta}}{Q_{o\max}} \cdot \frac{t_h^I - t_c}{t_h - t_c} \delta\tau_o^p \quad (97)$$

При известном суммарном перепаде температур δ значение $\delta_{1и}$ определяется из выражения

$$\delta_{1и} = \delta - \delta_{2и} \quad (98)$$

При любой t_n перепад температур сетевой воды в подогревателе СГВ I ступени можно определить по формуле

$$\delta_2(t_n) = \delta_{2и} \cdot \frac{\tau_2 - t_c}{\tau_{2и} - t_c} \quad (99)$$

В приводимой методике $\delta_2(t_n)$ рассчитывается только для определения $\delta_1(t_n)$, т.е. графика $\tau_1(t_n)$, по которому ведется регулирование на источнике тепла. Значения $\tau_2(t_n)$ определяются в результате расчета режимов ТП.

11.2. Определение расчетных параметров оборудования ТП

Расчет основных параметров подогревателей производится при наружной температуре, соответствующей точке излома $t_{ни}$. Для расчета параметров подогревателей необходимы некоторые изменения и дополнения в типовую методику [42] для отопительно - бытового графика [28].

а) Определяются параметры подогревателей СГВ Φ^I , Φ^{II} по (39, 40).

Величины Δt определяются по типовым формулам среднелогарифмического напора для противотока [7]:

$$\Delta t^I = \frac{(\tau_{2и} - t_c) - (\tau_{o2и} - t_h^I)}{\ln \frac{\tau_{2и} - t_c}{\tau_{o2и} - t_h^I}},$$

$$\Delta t^{II} = \frac{\left[(\tau_{1и}^{0-\delta} + \delta_{1и}) - t_h \right] - (\tau_{r2и} - t_h^{II})}{\ln \frac{(\tau_{1и}^{0-\delta} + \delta_{1и}) - t_h}{\tau_{r2и} - t_h^{II}}}, \quad (100a, б)$$

где $\tau_{1и}^{0-\delta}$ – температура в подающей магистрали тепловой сети в точке излома температурного графика при $t_{ни}$ при отопительно - бытовом графике центрального регулирования.

б) В I ступени подогревателя СГВ расход сетевой воды W_d равен расчетному эквиваленту расхода на отопление W_{do} , во II ступени – требуемому расходу на СГВ $W_{dh}^{II\text{TP}}$. В соответствии с [42] температура сетевой воды после подогревателя СГВ II

ступени в точке излома температурного графика принимается равной температуре после системы отопления. Поэтому $W_{dh}^{II\text{TP}}$ можно определить по формуле

$$W_{dh}^{II\text{TP}} = \frac{Q_h^{II}}{(\tau_1^{0-6} + \delta_{1n}) - \tau_{02n}}. \quad (101)$$

в) Другие величины для расчета режимов работы теплового пункта в точке излома температурного графика рассчитываются аналогично условиям отопительно - бытового графика по типовой методике [42, прил. 5, 6].

11.3. Расчет переменных режимов ТП

Расход сетевой воды на ввод определяется по отопительно - вентиляционной нагрузке $Q_{ov}(t_n)$, в соответствии с требованиями качественного регулирования:

$$W_d(t_n) = \frac{Q_{ov\max} \cdot \bar{Q}_{ov}}{\tau_1^{0-6} - \tau_{02}}, \quad (102)$$

где τ_1^{0-6} , τ_{02} – температуры воды согласно отопительно - бытовому графику при текущей наружной температуре; $\bar{Q}_{ov}(t_n) = (t_b - t_n) / (t_b - t_{но})$ – относительный расход тепла на отопление и вентиляцию.

1) Расчёты 1 - го приближения выполняются по формулам (44 - 48, 50, 51). Расход сетевой воды через подогреватель СГВ II ступени определяется по формуле

$$W_{dh}^{II}(t_n) = \frac{Q_h^{II}}{(\tau_1^{0-6} + \delta_1) - \tau_{r2}}, \quad (103)$$

где $(\tau_1^{0-6} + \delta_1)$ – температура воды в подающей магистрали тепловых сетей по повышенному графику; τ_{r2} – температура сетевой воды после подогревателя СГВ II ступени. Ввиду того, что τ_{r2} на этом этапе ещё неизвестна, в 1 - м приближении принимается $\tau_{r2} = t_n^1$.

2) Во 2 - м приближении используются формулы теории теплообменных аппаратов [7], которые позволяют достаточно точно определить необходимый расход сетевой воды на СГВ [27]. Однако при температурах наружного воздуха от точки излома до $t_n = 8^\circ\text{C}$ значительно сокращается расход сетевой воды на отопление G_{do} , поскольку температура воды в подающей магистрали τ_1 в этом диапазоне остается постоянной (рис. 20а) и значительно выше требуемой для системы отопления. Однако расход воды на СГВ G_{dh} в этом диапазоне является максимальным (рис. 20б). На рис. 20в,г видно, что определение расхода сетевой воды только по отопительной нагрузке приводит к значительному сокращению расхода воды G_o , циркулирующей в системе отопления, и к снижению температуры внутреннего воздуха до критических значений 12 - 14 °С, вследствие связанной подачи тепла в систему отопления.

3) Для преодоления этого недопустимого снижения t_n в 3 - м приближении в 1 - м диапазоне наружных температур к расходу сетевой воды на ввод добавляется необходимый расход сетевой воды на СГВ (определенный во 2 - м приближении):

$$W_d(t_n) = \frac{\bar{Q}_{ov} \cdot Q_{ov\max}}{(\tau_1^{0-6} + \delta_1) - \tau_{02}} + W_{dh}^{II} \leq W_{do\max}. \quad (104)$$

Расходы воды из тепловой сети, определяются по формулам:
 суммарный в тепловых сетях $G_d=3,6(W_d+W_{dv}) / c, \text{ т / ч}; (105a)$
 где W_{dv} – эквивалент расхода сетевой воды на вентиляцию;
 на горячее водоснабжение $G_{dh}=3,6W_{dh}^{\text{II}} / c, \text{ т / ч}; (105б)$
 на отопление $G_{do}=3,6W_{do} / c - G_{dh}, \text{ т / ч}. (105в)$

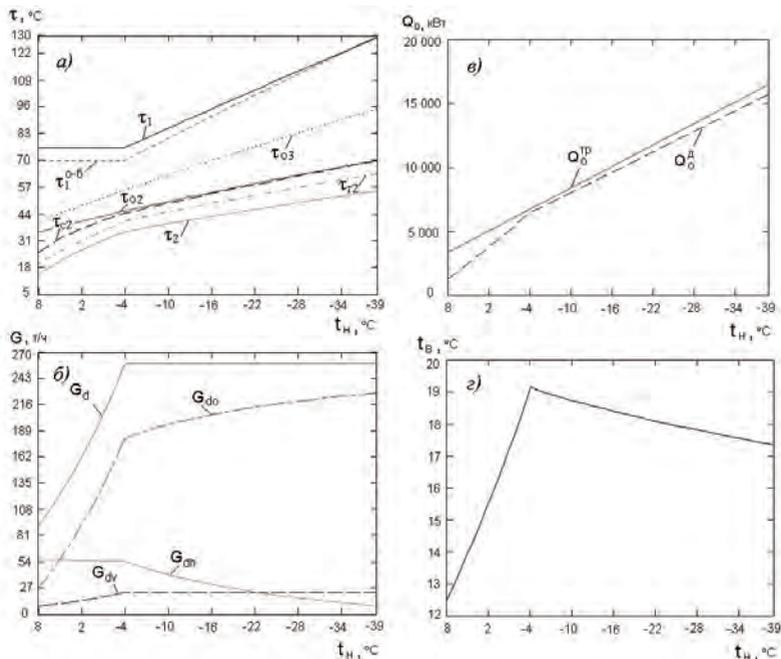


Рис. 20. Режимы ТП при повышенном графике центрального регулирования

11.4. Способы местного количественного регулирования

Расход сетевой воды для системы отопления, рассчитанный по формуле (105в), меньше требуемого в результате связанной подачи тепла на отопление и горячего водоснабжения. Для поддержания допустимых значений температуры внутреннего воздуха t_B , и расхода воды, циркулирующей в системе отопления G_0 , необходимо местное количественное регулирование отопительных систем. Возможно несколько способов регулирования.

а) Местное регулирование поддержанием графика разности температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе системы отопления $\Delta\tau = \tau_{03} - \tau_{02}$. Это наиболее простой способ, т.к. в этом случае повышается точность регулирования, из-за того, что график $\Delta\tau(t_H)$ – линейный, в отличие от криволинейных графиков температур воды в подающем и обратном трубопроводах [1, 42]. Однако, в этом случае расход воды G_{01} (рис. 23), тепловая мощность системы

отопления Q_{o1} (рис. 24) и температура внутреннего воздуха $t_{в1}$ (рис. 25) ниже требуемых значений.

В способах регулирования "б" и "в" предварительно рассчитываются тепловые потоки, расходы воды в системе отопления и температуры воды в обратной магистрали системы отопления.

б) Регулирование поддержанием температуры воды в подающей магистрали отопительных сетей и температуры внутреннего воздуха. Так как в этом случае регулирование производится за счет уменьшения коэффициента смешения, это вызывает ещё большее снижение расхода воды в системе отопления и может привести к её гидравлическому разрегулированию.

Необходимый коэффициент смешения может быть найден по требуемой температуре воды после системы отопления, рассчитываемой по формуле

$$\tau_{o22}(t_n) = t_{вр} + \Delta t_o \left(\frac{Q_{o1}}{Q_{o\max}} \right)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta \cdot \frac{Q_{o1}}{Q_{o\max}}. \quad (106)$$

Тепловая мощность системы отопления определяется по формуле

$$Q_{o2}(t_n) = W_{до} \cdot \left[(t_1^{0-6} + \delta_1) - \tau_{o22} \right], \quad (107)$$

расход воды, циркулирующей в системе отопления:

$$W_{o2}(t_n) = \frac{Q_{o2}}{\tau_{o3} - \tau_{o22}}. \quad (108)$$

в) Регулирование поддержанием постоянного расхода воды в системе отопления. Этот режим осуществляется за счет увеличения коэффициента смешения; при этом повышается гидравлическая устойчивость системы отопления, однако снижается тепловая мощность и соответственно, температура внутреннего воздуха.

Для этого определяются:

– требуемая температура воды после системы отопления при постоянном расчетном расходе воды, циркулирующей в системе отопления ($W_o = W_{ор}$)

$$\tau_{o23}(t_n) = \tau_{o3} - \frac{Q_{o1}}{W_{ор}}; \quad (109)$$

– тепловая мощность системы отопления

$$Q_{o3}(t_n) = W_{до} \cdot \left[(t_1^{0-6} + \delta_1) - \tau_{o23} \right]; \quad (110)$$

– расход воды, циркулирующей в системе отопления, равный расчетному расходу

$$W_{o3}(t_n) = \frac{Q_{o3}}{\tau_{o3} - \tau_{o23}}. \quad (111)$$

Температура внутреннего воздуха при любом способе регулирования определяется из решения системы (22).

На рис. 21 - 25 приведены результаты расчетов режимов центрального теплового пункта, расположенного в г. Осинники Кемеровской области. Расчет производился в связи с реконструкцией системы теплоснабжения, вследствие подключения тепловых сетей к Южно - Кузбасской ГРЭС (г. Калтан) и ликвидацией небольших квартальных котельных. ЦТП обслуживает 2 жилых квартала, с общей численностью 10060 чел. Потребителями тепла являются жилые дома,

общественные и административные здания. На ЮК ГРЭС принят температурный график 130 - 70 °С; квартальные тепловые сети и системы отопления зданий рассчитаны на температурный перепад 95 - 70 °С. Температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_{\text{но}} = -39$ °С, расчетная внутренняя температура $t_{\text{в}}^{\text{р}} = 20$ °С.

Расчетные характеристики ЦТП приняты по проектным данным:
 максимальный часовой расход воды на СГВ, $q_{\text{hr}}^{\text{h}} = 113,956 \text{ м}^3 / \text{ч}$;
 расход на СГВ в средние сутки, $q_{\text{tm}}^{\text{h}} = 50,3 \text{ м}^3 / \text{ч}$;
 максимальный расход тепла на отопление, $Q_{\text{o max}} = 16446 \text{ кВт}$;
 максимальный расход тепла на вентиляцию, $Q_{\text{v max}} = 1556,5 \text{ кВт}$;
 коэффициент теплопотерь $K^t = 0,35$;
 температура водопроводной воды, $t_{\text{с}} = 5$ °С;
 температура горячей воды, $t_{\text{h}} = 60$ °С.

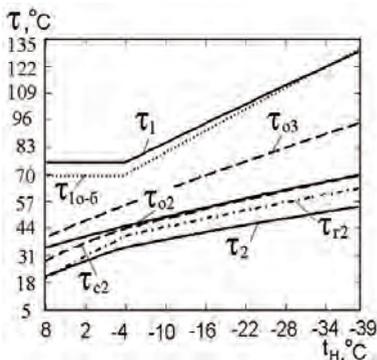


Рис. 21. График температур сетевой воды по результатам 3 - го приближения

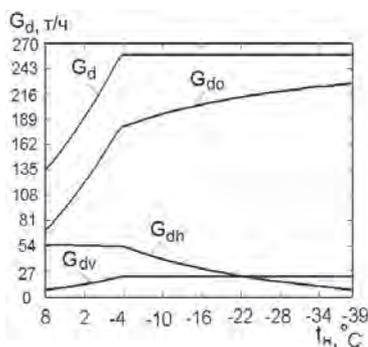


Рис. 22. График расходов сетевой воды по результатам 3 - го приближения

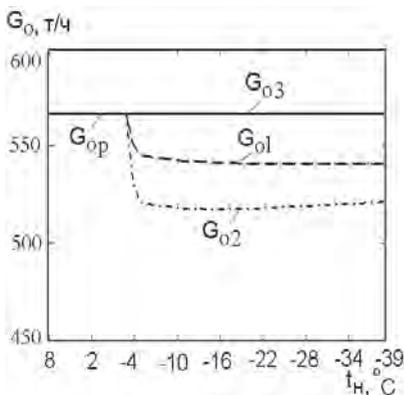


Рис. 23. Расход воды, циркулирующей в системе отопления

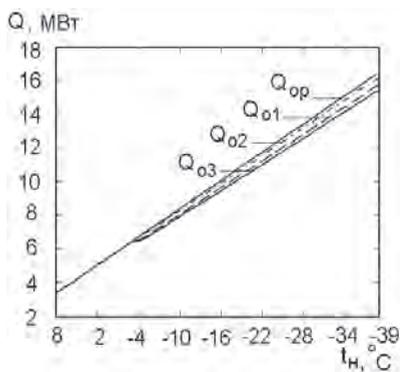


Рис. 24. Тепловая мощность системы отопления

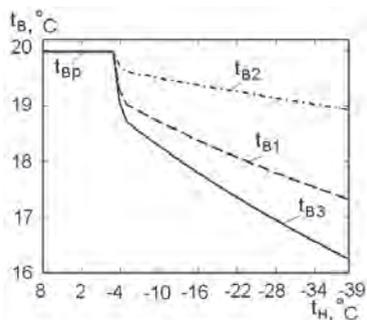


Рис. 25. Температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений

По графикам можно сделать следующие выводы:

- 1) при любом методе местного регулирования характеристики системы отопления ниже расчетных; оптимальную температуру внутреннего воздуха изменением коэффициента смешения полностью поддержать не удаётся из-за снижения расхода в системе отопления;
- 2) необходимо местное количественное регулирование расхода воды в системе отопления во всём интервале наружных температур, для чего требуется установка смесительных насосов и отопительных регуляторов;
- 3) температура внутреннего воздуха в помещениях всегда ниже расчетной; повысить внутреннюю температуру можно, если принять за $t_{в}^p = 22$ °C (верхнее значение интервала оптимальности $t_{в}$); однако, в свою очередь, это вызовет некоторое увеличение расхода воды в тепловых сетях.

11.5. Повышенный график центрального регулирования для смешанных схем ТП с ограничением расхода

Как было отмечено выше, формулы расчета температурных надбавок δ_1 , δ_2 (95) к отопительно-бытовому графику центрального регулирования, были выведены для последовательной схемы присоединения подогревателей СГВ. При этом можно заметить, что повышение температуры $\tau_1(t_{н})$ не обеспечивает необходимую тепловую мощность системы отопления на протяжении большей части отопительного периода (рис. 24). Изменение $\tau_2(t_{н})$ в течение всего отопительного периода показано на рис. 26.

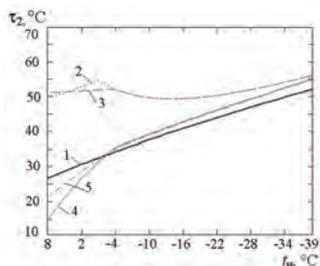


Рис. 26. Изменение $\tau_2(t_{н})$ в различных условиях работы ТП

При переводе существующих ТП с двухступенчатой параллельной схемы присоединения подогревателей СГВ на двухступенчатую смешанную с ограничением расхода схему или при применении схемы ТП, площадь подогревателя II ступени СГВ остаётся уменьшенной, как для параллельной схемы (т.е. площадь подогревателя рассчитывается из условия пропуска всего расхода сетевой воды через подогреватель II ступени СГВ при максимальном водоразборе). Проведённое исследование показало, что в двухступенчатой смешанной схеме с ограничением можно уменьшить площадь подогревателя СГВ II ступени только при отопительно - бытовом графике центрального регулирования. В последовательной схеме подогревателей СГВ расход воды из сети для системы отопления остаётся постоянным. В смешанной с ограничением схеме при повышенном графике связанная подача тепла за счет уменьшения подачи расхода сетевой воды в систему отопления дополняется также уменьшением температуры сетевой воды для системы отопления.

Линией 1 на рис. 26 показано изменение $\tau_2(t_n)$ для параллельной схемы при определении δ_2 по формуле (99), рассчитанное без учета действительного режима работы ТП, рекомендуемое [7]. Линиями 2, 3 показано изменение $\tau_2(t_n)$ в случае уменьшенной площади подогревателя СГВ II ступени (когда подогреватель II ступени рассчитывается на пропуск суммарного расхода сетевой воды G_d). Кривой 2 соответствует регулирование по расходу на отопление при $t_n > t_{ни}$; кривой 3 – поддержание постоянного расхода на ТП при любой t_n . Кривая 4 – изменение $\tau_2(t_n)$ при расчете площади подогревателя II ступени на пропуск среднего расхода сетевой воды на СГВ (G_{dhm}) и при регулировании по расходу на отопление при $t_n > t_{ни}$ (режимы ТП показаны на рис. 20); Кривая 5 – то же при поддержании суммарного расхода на отопление и ГВС при $t_n > t_{ни}$ (режимы ТП показаны на рис. 21 - 25).

Рассмотрим результаты расчета режимов того же ЦТП в г. Осинники.

Результаты расчета переменных режимов ТП в течение отопительного периода для случая максимального водоразбора в системе СГВ [32] представлены на рис. 27.

На рис. 27а видно, что температура воды, возвращаемой в тепловую сеть τ_2 на протяжении всего отопительного периода выше требуемой по расчету повышенного графика, рассчитанного по СП 41 - 101 - 95, применимого для последовательной схемы. Известно, что высокая температура обратной воды – это прежде всего потери тепловой энергии. Согласно ПТЭ тепловых энергоустановок, п.6.2.59, отклонения среднесуточное завышение τ_2 не должно превышать 5 %. Завышение τ_2 влечет за собой аварийный режим в работе турбин на ТЭЦ. При теплоснабжении от котельных превышение τ_2 также наносит ощутимый ущерб источнику теплоты, поскольку это перерасход водопроводной воды и пережог электроэнергии. В результате покрывать убытки источника приходится потребителям.

В то же время потребители недополучают теплоту. Как видно из рис. 27б, расход сетевой воды, поступающей в систему отопления $G_{do}^л$ меньше требуемого $G_{do}^{тп}$ для поддержания температурного режима системы отопления на протяжении всего отопительного периода, поскольку в первую очередь обеспечивается теплом СГВ.

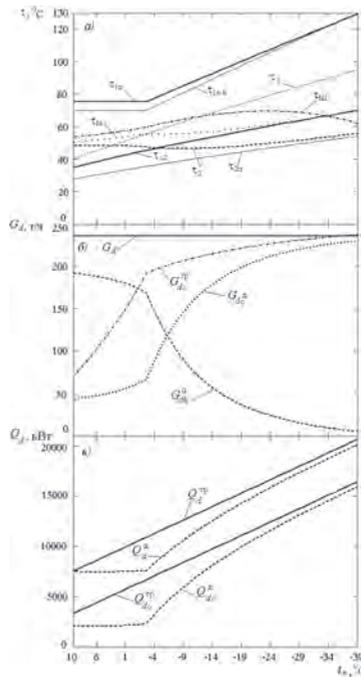


Рис. 27. Режимы ТТ при повышенном графике центрального регулирования

а) Температуры сетевой воды

τ_{10} – температура в подающей магистрали теплосети по повышенному температурному графику; $\tau_{10.б}$ – то же при отопительно - бытовом графике; τ_3 – температура воды в подающей магистрали квартальных отопительных сетей; τ_{20} – то же в обратной магистрали; τ_2 – температура в обратной магистрали теплосети; τ_{21} – то же, требуемая по расчету повышенного графика; τ_h^I – температура сетевой воды после подогревателя СГВ I (нижней) ступени; τ_h^II – то же после II (верхней) ступени.

б) Расходы сетевой воды

G_d – суммарный расход сетевой воды; G_{do}^{TP} – требуемый расход воды из сети для системы отопления; G_{do}^A – действительный расход воды из сети, поступающей в систему отопления; G_{dh}^{II} – расход сетевой воды, необходимой для нагрева водопроводной воды в подогревателе СГВ II ступени.

в) Тепловая мощность

Q_d^{TP} – требуемая тепловая мощность тепловой сети; Q_d^A – действительная тепловая мощность тепловой сети; Q_{do}^{TP} – требуемая тепловая мощность системы отопления; Q_{do}^A – действительная тепловая мощность системы отопления.

При смешанной схеме присоединения в силу меньшего сопротивления подогревателей II ступени по сравнению с отопительной внутриквартальной сетью, нагрев воды в системе СГВ до заданной температуры при дефиците теплоты будет происходить за счет сокращения расхода теплоносителя в систему отопления. Особенно сильно сокращение расхода сетевой воды происходит при наружных температурах выше точки излома температурного графика.

Потери теплоты хорошо видны на рис. 27в, где рассчитаны требуемое количество теплоты, которое должны обеспечить тепловые сети $Q_d^{тп}$ и действительное $Q_d^д$, получаемое потребителями. Видно, что на протяжении всего отопительного периода потребители недополучают теплоту за счет уменьшения теплового потока в систему отопления $Q_{дб}^д$ по сравнению с требуемым $Q_{дб}^{тп}$.

11.6. Способы местного количественного регулирования

Только центральное регулирование тепловой нагрузки не может обеспечить допустимых значений температуры внутреннего воздуха t_v и расхода воды, циркулирующей в системе отопления G_o в результате связанной подачи тепла на отопление и СГВ. Рассмотрим некоторые способы местного количественного регулирования отопительных систем. Результаты расчета приведены на рис. 28.

1) Местное регулирование поддержанием графика разности температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе системы отопления $\Delta\tau = \tau_{o3} - \tau_{o2}$. Оно может осуществляться электронными регулирующими приборами Т48М - 1, ЭРТ - 1, РС29.2.33, РП - 4Т. Это наиболее простой способ, т.к. в этом случае повышается точность регулирования, из-за того, что график $\Delta\tau(t_i)$ – линейный, в отличие от криволинейных графиков температур воды в подающем и обратном трубопроводах.

На рис. 28а видно, что отопительный регулятор поддерживал требуемую разность температур $\Delta\tau = \tau_{o3} - \tau_{o21}$ в течение всего отопительного периода. Однако вследствие использования большого расхода сетевой воды в подогревателе СГВ II ступени, в систему отопления поступало уменьшенное количество сетевой воды $G_{o1}^д$ (рис. 28б), следовательно, тепловая мощность системы отопления $Q_{дб1}^д$ (рис. 28в) и температура внутреннего воздуха $t_{в1}^д$ (рис. 28г) ниже требуемых значений.

2) Регулирование поддержанием температуры воды в подающей магистрали отопительных сетей по сигналу датчика температуры внутреннего воздуха. Температура в обратной магистрали системы отопления τ_{o22} в этом случае будет ниже, чем в способе 1, ниже будет и температура воды, возвращаемой в тепловую сеть τ_{22} , т.е. сокращаются потери теплоты ($Q_{дб2}^д > Q_{дб1}^д$ на рис. 28в). Но так как в этом случае регулирование производится за счет уменьшения коэффициента смешения, это вызывает ещё большее снижение расхода воды в системе отопления $G_{o2}^д$ (рис. 28б) и может привести к её гидравлическому разрегулированию.

3) Регулирование поддержанием постоянного расхода воды в системе отопления. Этот режим осуществляется за счет увеличения коэффициента смешения; при этом повышается гидравлическая устойчивость системы отопления ($G_{o3}^д = G_o^{тп}$ на рис. 28б), однако тепловая мощность $Q_{дб3}^д$ (рис. 28в) и соответственно, температура внутреннего воздуха $t_{в3}^д$ (рис. 28г) самые низкие из всех способов местного регулирования.

На рис. 28д показана температура нагреваемой воды после подогревателя I ступени t_h^I и поступающей в СГВ после II ступени t_h^{II} . Как видно из рисунка, при способе регулирования 3, в СГВ поддерживается температура воды на уровне 60 °С, при этом система отопления сохраняет гидравлическую устойчивость, но тепловой режим помещений наихудший, а также самые большие потери тепловой энергии. В способах 1 и 2 температура горячей воды может быть ниже 60 °С и возможна гидравлическая разрегулировка систем отопления.

Для уменьшения влияния водоразбора в СГВ на температурный режим помещений применяется, как правило, повышение теплоустойчивости зданий, иными словами, увеличивается толщина стен за счет применения эффективных утеплителей. Рассмотрим изменение температуры внутреннего воздуха в течение суток для здания с коэффициентом тепловой аккумуляции $\beta = 100$ ч при способах местного регулирования 1, 2, 3 и различных температурах наружного воздуха.

В рабочие дни наблюдаются два периода с увеличенным водоразбором продолжительностью 4 ч: утром с 6 до 10 ч с величиной расхода в 1,5 раза превышающей средний показатель, и вечером с 18 до 22 ч с величиной расхода в 2 раза больше средней. Водоразбор близкий к среднему наблюдается в дневной период с 10 до 18 ч. С 0 до 6 ч водоразбор минимален и составляет 0 - 0,3 от среднего.

Действительную температуру внутреннего воздуха для каждого часа z в течение суток можно найти по формуле (63).

Результаты расчета представлены на рис. 29.

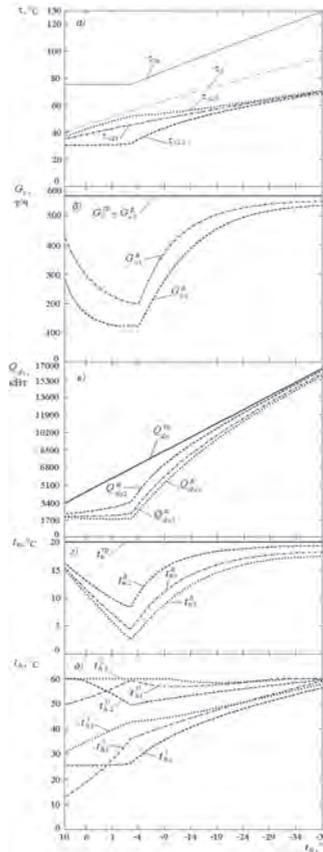


Рис. 29. Переменные режимы ТП при различных способах местного количественного регулирования

а) Температура воды в обратной магистрали системы отопления

$\tau_{1в}$, τ_3 – см. обозначения к рис. 27а; τ_{021} , τ_{022} , τ_{023} – температура воды в обратной магистрали системы отопления при способах регулирования 1, 2 и 3 соответственно.

б) Расходы воды в системе отопления

$G_{01}^{тп}$ – требуемый расход воды в системе отопления; $G_{01}^д$, $G_{02}^д$, $G_{03}^д$ – действительный расход воды в системе отопления при способах регулирования 1, 2, 3.

е) Тепловая мощность системы отопления

$Q_{до}^{TP}$ – требуемая тепловая мощность системы отопления; $Q_{до1}^Д$, $Q_{до2}^Д$, $Q_{до3}^Д$ – действительная тепловая мощность системы отопления при способах регулирования 1, 2, 3.

з) Температура внутреннего воздуха

t_B^{TP} – требуемая температура внутреннего воздуха; $t_{B1}^Д$, $t_{B2}^Д$, $t_{B3}^Д$ – действительная температура внутреннего воздуха при способах регулирования 1, 2, 3.

д) Температура воды в СГВ

t_{h1}^I , t_{h2}^I , t_{h3}^I – температура нагреваемой воды после I ступени подогревателя СГВ при способах регулирования 1, 2, 3; t_{h1}^{II} , t_{h2}^{II} , t_{h3}^{II} – температура горячей воды, поступающей в систему СГВ после II ступени подогревателя при способах регулирования 1, 2, 3.

Допустимый диапазон применения системы центрального регулирования определяется условием, по которому внутренняя температура в отапливаемых помещениях не должна выходить за пределы зоны комфорта (17 - 20 °С). Как показывают результаты расчета, при низких наружных температурах при всех способах местного регулирования среднесуточная внутренняя температура остаётся в пределах допустимой нормы хотя и ниже расчетной. При повышении наружной температуры при способе регулирования 2 (рис. 30б) внутренняя температура также остаётся допустимой, а при способах 1 (рис. 30а) и особенно 3 (рис. 30в) внутренняя температура снижается.

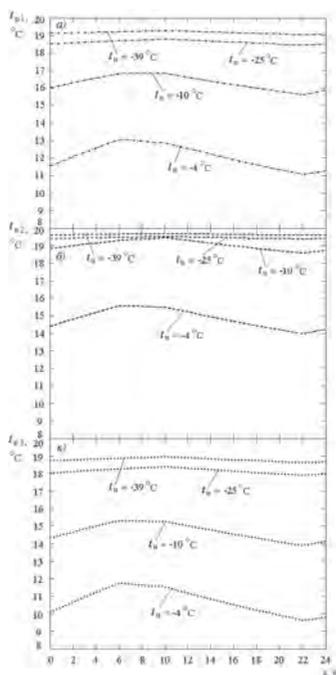


Рис. 30. Суточные режимы изменения температуры внутреннего воздуха при различных температурах наружного воздуха и различных способах местного регулирования

а) при регулировании по способу 1; б) при регулировании по способу 2; в) при регулировании по способу 3.

При любом способе регулирования при наружной температуре, соответствующей точке излома температурного графика центрального регулирования, внутренняя температура значительно ниже нормы, колебания внутренней температуры в течение суток превышают 3°C. Наихудший температурный режим отапливаемых помещений наблюдается при способе регулирования 3 (рис. 30в).

Таким образом, ни один из способов местного регулирования не может обеспечить оптимальный режим работы ТП. При повышении гидравлической устойчивости системы отопления ухудшается тепловой режим помещений и наоборот, т.е. режимы работы ТП с двухступенчатой смешанной схемой присоединений подогревателей СГВ не обеспечивают рациональное использование теплоты и приводят к её потерям.

11.7. Двухступенчатая смешанная схема присоединения подогревателей СГВ с программируемым регулятором

Как показали расчеты, двухступенчатая смешанная схема присоединения подогревателей СГВ с ограничением расхода из сети не может обеспечить оптимальную работу систем отопления и СГВ без тепловых потерь. Также известно, что применение последовательной схемы часто вызывает «перетоп» помещений. Более рациональной является схема, в которой часть сетевой воды после подогревателя СГВ II ступени поступает в систему отопления, а часть – в подогреватель СГВ I ступени. Такой способ регулирования может быть реализован в типовой двухступенчатой смешанной схеме присоединения подогревателей СГВ с переключением на последовательную, где вместо трёхходового клапана после подогревателя СГВ II ступени должен быть установлен программируемый регулятор расхода (ПР на рис. 31). Дополнительный расход сетевой воды, который должен поступать в систему отопления можно определить по формуле

$$G_{do}^{доп} = \frac{\tau_{1п} (G_{do} - G_{do}^Д)}{\tau_{hII}} \cdot \frac{3,6}{c \cdot \rho}$$

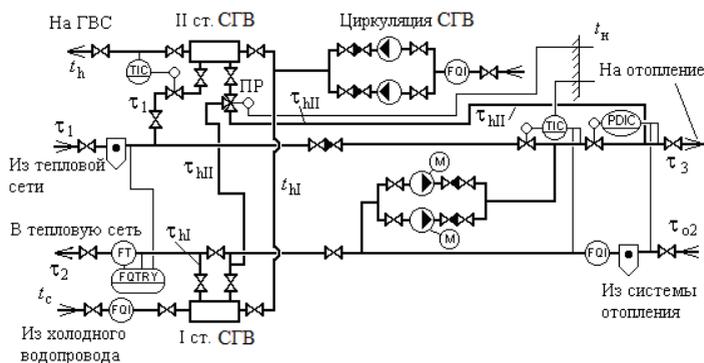


Рис. 31. Двухступенчатая последовательно - смешанная схема с переключением II ступени подогревателя СГВ
ПР – программируемый регулятор расхода

Результаты расчёта режимов ТП с программируемым регулятором расхода приведены на рис. 32. На рис 32а видно, что температуры сетевой воды после подогревателя ГВС I ступени τ_{hI} и, соответственно возвращаемой в тепловую сеть τ_2 ниже, чем в традиционной

схемы с переключением II ступени подогревателя СГВ; $\tau_{2п}$ – температура воды в обратной магистрали тепловой сети по расчету повышенного графика центрального регулирования.

11.7. Основные выводы

1) Рассмотрено применение методики расчета переменных режимов ТП, при любых переменных условиях работы теплосети в течение отопительного периода для условий повышенного графика центрального регулирования.

2) Рассчитаны переменные режимы ТП с двухступенчатой схемой присоединения подогревателей СГВ и различных способах местного количественного регулирования. Сделан вывод, что при центральном регулировании по повышенному температурному графику, не всегда удается обеспечить оптимальные параметры работы местных систем в ТП с двухступенчатой смешанной схемой присоединения подогревателей СГВ. Действительная температура воды, возвращаемой в тепловую сеть τ_2 , не соответствует температуре, определенной при расчете повышенного графика без учета режимов ТП.

3) Исследованы режимы ТП с программируемым регулятором расхода. Применение программируемого регулятора позволит снизить потери теплоты и обеспечить оптимальный температурный режим для потребителей.

Список использованной литературы:

1. Грудзинский М.М. Автоматическое регулирование систем отопления с применением регулятора Т - 48 / М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак, В.И. Медведь, А.А. Чугункин, Л.Ф. Куклик, Н.И. Коровин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1980. – № 1. – С. 23 - 26.
2. Басин А.С. Главные проблемы теплоснабжения Сибири / А.С. Басин // Энергетика: экология, надежность, безопасность. – Томск: Изд - во ТПУ, 2002. – Т. 1. – с. 3 - 7.
3. Басин А.С. Общие и региональные проблемы надёжности теплоснабжения населения в городах. 1. Обоснование требований надёжности / А.С. Басин // Известия вузов. Строительство. – 1999. – №7. – С. 122 - 127.
4. Бэктор М. Методика расчета режимов работы закрытых систем теплоснабжения при неполной автоматизации (в условиях МНР) / М. Бэктор, Е.Я. Соколов // Теплоэнергетика. – 1977. – № 5. – С. 76 - 78.
5. Закатова М.С. Методика расчета и результаты испытания двухступенчатых установок горячего водоснабжения / М.С. Закатова // Электрические станции. – 1961. – № 2. – С. 27 - 35.
6. Закс М.Л. Расчет и режим двухступенчатой схемы теплового ввода / М.Л. Закс // Водоснабжение и санитарная техника. – 1961. – № 9. – С. 10 - 18.
7. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат. – 1986. – 320 с.
8. Зингер Н.М. Исследование характеристик абонентского ввода с последовательной схемой включения подогревателей горячего водоснабжения / Н.М. Зингер, К.С. Андреева // Электрические станции. – 1964. – № 10. – С. 23 - 28.
9. Зингер Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат. – 1990. – 188 с.

10. Зингер Н.М. Эксплуатационные испытания автоматизированного центрального теплового пункта / Н.М. Зингер, А.Л. Бурд, В.И.Кривицкий // Водоснабжение и санитарная техника. – 1980. – № 12. – С. 20 - 24.
11. Зингер Н.М. Определение нормативных параметров теплоносителя у абонентов водяных тепловых сетей / Н.М. Зингер, А.И. Любарская, В.А. Малафеев // Теплоэнергетика. – 1992. – № 12. – С. 19 - 22.
12. Зингер Н.М. Разработка методов расчета абонентских теплопотребляющих установок с применением ЭЦВМ / Н.М. Зингер, А.И. Любарская, Г.В. Монахов, С.Д. Каплан // Теплоэнергетика. – 1978. – № 12. – С. 25 - 29.
13. Зингер Н.М. Выбор расчетных параметров и сопоставление параллельной и смешанной схем горячего водоснабжения / Н.М. Зингер, А.И. Миркина // Теплоэнергетика. – 1966. – № 2. – С. 59 - 64.
14. Зингер Н.М. Выбор расчетных условий и режимы работы теплофикационного ввода / Н.М. Зингер, А.И. Миркина // Электрические станции. – 1965. – № 9. – С. 31 - 35.
15. Зингер Н.М. Исследование абонентских теплофикационных установок с двухступенчатой последовательной схемой с использованием ЭЦВМ / Н.М. Зингер, А.И. Миркина // Теплоэнергетика. – 1970. – № 10. – С. 15 - 18.
16. Зингер Н.М., Миркина А.И. Методика расчета режимов абонентских вводов со смешанной схемой горячего водоснабжения с применением ЭЦВМ // Теплоэнергетика. – 1973. – № 3. – С. 56 - 66.
17. Зингер Н.М. Расчет на ЭЦВМ оборудования абонентских вводов с последовательной схемой / Н.М. Зингер, А.И. Миркина // Водоснабжение и санитарная техника. – 1971. – № 12. – С. 25 - 29.
18. Ионин А.А. Надёжность систем тепловых сетей / А.А. Ионин. – М.: Стройиздат. – 1989. – 268 с.
19. Кононович Ю.В. Тепловой режим зданий массовой застройки / Ю.В. Кононович. – М.: Стройиздат, 1986. – 157 с.
20. Кононович Ю.В. Отключение подогревателя горячего водоснабжения в аварийный период / Ю.В. Кононович, А.Л. Бурд // Водоснабжение и санитарная техника. – 1984. – № 8. – С. 14 - 16.
21. Концепция РАО «ЕЭС России» технической и организационно - экономической политики в области теплофикации и централизованного теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 1. – С. 1 - 11.
22. Национальный доклад «Теплоснабжение Российской Федерации. Пути выхода из кризиса» / Книга 1 «Реформа системы теплоснабжения и теплопотребления Российской Федерации» / в рамках проекта ГЭФ / ПРООН «Создание условий для сокращения основных барьеров на пути энергоэффективности в российском жилищном хозяйстве и теплоснабжении». – М.: АНО «РУСДЕМ - Энергоэффект», 2002. – 142 с.
23. Пивоваров П.И. Теплофикация и централизованное теплоснабжение г. Новосибирска / П.И. Пивоваров // Теплоэнергоэффективные технологии. – 1999. – № 2. – С. 41 - 43.
24. Ливчак В.И. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Н.Н. Чистяков, М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 314 с.

25. Попырин Л.С. Исследование надёжности и живучести систем централизованного теплоснабжения городов / Л.С. Попырин // Известия АН. Энергетика. – 1995. – № 6. – С. 63 - 70.
26. Попырин Л.С. Природно - техногенные аварии в системах теплоснабжения / Л.С. Попырин // Вестник РАН. – 2000, т.70. №7. – С. 604 - 610.
27. Рафальская Т.А. Методика расчета режимов двухступенчатой смешанной схемы подогревателей горячего водоснабжения с ограничением расхода / Т.А. Рафальская // Известия вузов. Строительство. – 2002. – № 3. – С. 73 - 78.
28. Рафальская Т.А. Моделирование режимов работы двухступенчатой смешанной схемы подогревателей горячего водоснабжения при повышенном температурном графике / Т.А. Рафальская, А.С. Басин // Известия вузов. Строительство. – 2002. – № 7. – С. 76 - 81. – ISSN 0536 - 1052.
29. Рафальская Т.А. Моделирование оптимального теплового режима установок с двухступенчатой смешанной схемой подогревателей ГВС при ограничении расхода / Т.А. Рафальская, А.С. Басин // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 5. – С. 79 - 86. – ISSN 0536 - 1052.
30. Рафальская Т.А. Особенности совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения в условиях значительного снижения температур наружного воздуха Т.А. Рафальская // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 11 - 12. – С. 62 - 72. – ISSN 0536 - 1052.
31. Рафальская Т.А. Особенности совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения при высоких температурах наружного воздуха / Т.А. Рафальская // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 11. – С. 54 - 62. – ISSN 0536 - 1052.
32. Рафальская Т.А. Прогнозирование переменных режимов тепловых пунктов в условиях повышенного графика центрального регулирования / Т.А. Рафальская // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 7 - 8. – С. 50 - 61
33. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01 - 85*: введ. в действ. 2011 - 12 - 29 / Минрегион России, 2011. – 65 с.
34. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41 - 02 - 2003: введ. в действ. 2013 - 01 - 01.
35. Соколов Е.Я. О тепловых характеристиках теплообменников / Е.Я. Соколов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1963. – № 1. – С. 20 - 24.
36. Соколов Е.Я. Расчет переменного теплового режима оборудования абонентских установок / Е.Я. Соколов // Известия вузов. Энергетика. – 1963. – № 2. – С. 57 - 64.
37. Соколов Е.Я. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов // Теплоэнергетика / Е.Я. Соколов. – 1958. – № 5. – С. 38 - 43.
38. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ. – 2001. – 472 с.
39. Соколов Е. Я. Режим работы двухступенчатой схемы присоединения установок отопления и горячего водоснабжения / Е.Я. Соколов, М. С. Закатова // Теплоэнергетика. – 1965. – № 12. – С. 73 - 77.

40. Соколов Е.Я. Проверка точности приближенного уравнения характеристики теплообменных аппаратов / Е.Я. Соколов, Н.В. Калинин // Теплоэнергетика. – 1964. – № 2. – С. 70 - 74.

41. Басин А.С. Состояние, проблемы и перспективы развития централизованного теплоснабжения Новосибирска / Л.В. Драгунов, В.В. Калинин, А.Ю. Кожин, А.Н. Захаров, В.В. Островский, Н.Т. Воронов, В.Г. Пьянов, В.М. Зорин, А.М. Климов, А.С. Басин // Теплоэнергоэффективные технологии. – 1999. – № 2. – С. 44 - 46.

42. СП 41 - 101 - 95. Правила по проектированию и строительству тепловых пунктов: введ. в действ. 1996 - 07 - 01 / Минстрой России – Москва: ГУП ЦПП, 1997. – 78 с.

43. Кушнырев В.И. Техническая термодинамика и теплопередача / В.И. Кушнырев, В.И. Лебедев, В.А. Павленко. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

44. Яцков М.И. Концепция и основные положения охраны окружающей природной среды в теплоэнергетике города Новосибирска до 2005 года / М.И. Яцков, А.А. Даниленко, Е.Ф. Авдеев // Сибирский стандарт жизни: экология, образование, здоровье. – Новосибирск: МАСС, 1997. – с. 35 - 44.

© Т.А. Рафальская, 2016

УДК 62

А.И. Сухинов

проректор по научно - исследовательской работе
и инновационной деятельности
Донской государственной технической университет
г.Ростов - на - Дону, Российская Федерация

О.И. Овчаренко

доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий
Таганрогский институт управления и экономики
г.Таганрог, Российская Федерация

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ТРЕХДИАГОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ НА НРС - КЛАСТЕРЕ

Аннотация

В данной работе рассмотрена реализация методов решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с трехдиагональной матрицей на НРС - кластере, представляющем многопроцессорную вычислительную систему (МВС) с распределенной памятью. Для параллельных алгоритмов получены оценки ускорения и эффективности.

Ключевые слова

Параллельный алгоритм, прямые методы, многопроцессорная вычислительная система, НРС - кластер.

Использование потенциала производительности МВС в настоящее время является важнейшей составляющей инновационного развития страны. Но, чтобы в полной мере

воспользоваться этим вычислительным потенциалом, необходима разработка соответствующего программного обеспечения. К сожалению, многие эффективные последовательные алгоритмы не обеспечивают необходимых показателей при переносе на многопроцессорные структуры. В связи с этим возникает проблема разработки параллельных алгоритмов, имеющие высокие качественные показатели при реализации на многоядерных вычислительных структурах.

1. Архитектура НРС - кластера

В качестве исходных данных при оценке эффективности построенных параллельных алгоритмов использовались параметры, характеризующие выбранную задачу, а также аппаратные характеристики НРС - кластера (ЮФУ, г. Таганрог). НРС - кластер представляет собой МВС с распределенной памятью, состоящую из 128 вычислительных узлов, объединенных сетью InfiniBand, с пропускной способностью 20 Гбит / с. В качестве вычислительных узлов используется 128 однотипных 16 - ядерных Blade - серверов HP ProLiant BL685c, каждый из которых оснащен четырьмя 4 - ядерными процессорами AMD Opteron 8356 2.3GHz и объемом ОЗУ 32Гб [1, с.320 - 321]. Параллельные расчеты произведены с применением технологий MPI на МВС и с учетом параметров, полученных при тестировании данной системы пакетами Linpack и Pallas MPI benchmark.

В качестве величин, характеризующих качество параллельных алгоритмов, использовались коэффициенты ускорения $S_p = T_1 / T_p$ и эффективности алгоритма $E_p = S_p / p$ [2, с.43]. Величина T_1 характеризует время выполнения последовательного алгоритма в одном процессорном ядре, а T_p – время выполнения алгоритма с использованием p - вычислительных ядер.

При оценке качества построенных алгоритмов, учитывалось следующее.

- Время выполнения последовательного алгоритма T_1 складывается из времени необходимого для выполнения вычислений в одном процессорном ядре, а также времени, которое тратится на чтение данных, необходимых для вычислений, из оперативной памяти в кэш память.

- Для оценки времени выполнения параллельного алгоритма T_p также учитывались накладные расходы на организацию параллелизма (организация и закрытие параллельных секций) и необходимость обмена числами (данными) между узлами кластера. Далее под числом будем понимать вещественную переменную со стандартной двойной точностью в 64 - битовом представлении с плавающей запятой, что является необходимым при решении СЛАУ большой размерности.

- Поскольку для передачи данных могут использоваться как механизмы синхронных (блокирующих) так и асинхронных (неблокирующих) передач, то в дальнейшем при оценке операций приема - передачи данных будем рассматривать операции блокирующего типа, которые являются более надежными и не позволяют совместить процессы передачи данных и вычисления.

- Передача данных от одного процессора к остальным может производиться одновременно (в стандарте MPI предусмотрена процедура рассылки от одного процессора всем имеющимся процессорам Broadcast) [2, с.332; 3].

- Процессор может принимать информацию от других процессоров последовательно (в стандарте MPI предусмотрена процедура сборки в одном процессоре значений из других процессоров Reduce) [2, с.332; 3].

- Прием и передача информации между процессорами одновременно не допускается. Данная процедура выполняется за два последовательных шага: на первом шаге процессоры с нечетными номерами отправляют данные, а процессоры с четными номерами осуществляют прием этих данных. На втором шаге роли процессоров меняются – четные выполняют передачу, нечетные – прием. Для поддержки данной процедуры в стандарте MPI предусмотрена процедура `Sendrecv` [2, с.331; 3].

2. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей

Системы с трехдиагональной матрицей возникают при трехточечной аппроксимации краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными и переменными коэффициентами, а также при реализации разностных схем для уравнений в частных производных. Для решения таких систем используются экономичные прямые методы: метод прогонки, циклической редукции и различные их модификации.

Метод прогонки подробно рассмотрен в работе [4, с.76] и, как отмечают авторы, использование данного метода сводит решение СЛАУ с трехдиагональной матрицей к решению последовательности двух задач: разложение матрицы в произведение двухдиагональных матриц и решение СЛАУ с этими матрицами. Такой прием оказывается полезным если требуется решить серию задач с различными правыми частями. При этом все прогоночные коэффициенты вычисляются только для первой задачи, при решении остальных используется часть коэффициентов уже рассчитанных. В связи с этим количество операций, необходимых для решения первой задачи, с $8N+1$ для решения каждой последующей уменьшается до $5N+3$.

К недостаткам данного метода можно отнести тот факт, что «классическая» схема прогонки, представляющая метод исключения Гаусса, учитывающий ленточную структуру матрицы, практически не поддается распараллеливанию. Однако известны работы, в которых такие попытки были предприняты [5, 6, 7]. Также, несмотря на то, что алгоритм требует меньшего количества арифметических операций по сравнению с другими методами, формулы для вычисления прогоночных коэффициентов могут являться источником погрешности, поскольку содержат операцию деления на разность близких по значению величин. Поэтому, когда при решении СЛАУ большое значение имеет точность полученного решения, целесообразно использовать метод циклической редукции [4], который свободен от этого недостатка.

В работе [8, с.289 - 292] проведено сравнение известных методов решения СЛАУ с трехдиагональной матрицей: циклической редукции [4], Бунемана [9] и рекурсивного сдвигания [8]. Все эти методы объединяет логарифмическая зависимость количества шагов метода от размерности задачи ($\log_2 N$). В [8] отмечается, что алгоритм рекурсивного сдвигания Стоуна, основанный на использовании ассоциативности операции перемножения матриц, имеет лучшие характеристики по количеству требуемых вычислительных затрат. Однако на практике данный метод не применяется, поскольку один из этапов рекурсивного сдвигания (разложение матрицы в произведение двухдиагональных матриц) имеет гораздо худшую устойчивость, чем метод циклической редукции. Неустойчивость алгоритма объясняется возможным ростом результатов при

выполнении промежуточных вычислений, связанных с ведущими главными минорами матрицы.

Предложенный в работе [5, с.139 - 146] алгоритм распараллеливания прогонки (метод Н.Н.Яненко - А.Н.Коновалова) позволяет на первом этапе рассчитывать коэффициенты и неизвестные параллельно, однако при использовании МВС с распределенной памятью возникает необходимость передачи данных между процессорами. Второй этап, связанный с решением СЛАУ для параметрических неизвестных, практически не поддается распараллеливанию: решение происходит последовательно в одном процессоре, остальные простаивают.

В работе [7, с.151 - 162] автором выдвигается идея замены фрагментов метода Стоуна, связанных с решениями двухдиагональных СЛАУ, а именно, замена сдваивания на последовательно - параллельный метод организации вычислений. Автор считает, что благодаря использованию приёма нормировки, характерного для последовательных операций [10], стало возможным сочетать параллельность с устойчивостью разложения трёхдиагональной матрицы.

Потребность в решении СЛАУ с трёхдиагональной матрицей также возникает на отдельных этапах при реализации быстрых прямых методов решения сеточных эллиптических уравнений [4, с.121 - 198; 11 - 13]. В данной работе выбор остановлен на двух наиболее часто используемых на практике: методе циклической редукции и прогонке.

2.1. Метод циклической редукции для трехточечных уравнений

Первый алгоритм метода. Пусть требуется найти решение трехточечной разностной задачи:

$$-a_i y_{i-1} + c_i y_i - b_i y_{i+1} = f_i, \quad 1 \leq i \leq N-1, \quad N = 2^n; \quad (1)$$

$$y_0 = 0, \quad y_N = 0.$$

Идея метода редукции [14, с.264 - 265] состоит в последовательном исключении из системы (1) неизвестных сначала с нечетными номерами, затем с номерами кратными 2 и т.д. В случае невыполнения условия $N = 2^n$, система дополняется тривиальными уравнениями вида $y_i = 0$.

Учитывая, что $c_i = a_i + b_i + d_i$, $a_i > 0$, $b_i > 0$, $d_i \geq 0$, выпишем три подряд идущие уравнения системы (1) для индексов $i-1$, i , $i+1$, где i – четное число, получим:

$$-a_{i-1} y_{i-2} + (a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}) y_{i-1} - b_{i-1} y_i = f_{i-1}, \quad (2)$$

$$-a_i y_{i-1} + (a_i + b_i + d_i) y_i - b_i y_{i+1} = f_i, \quad (3)$$

$$-a_{i+1} y_i + (a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}) y_{i+1} - b_{i+1} y_{i+2} = f_{i+1} \quad (4)$$

Умножив уравнение (2) на величину $a_i / (a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1})$, а уравнение (4) на $a_i / (a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1})$ и сложив полученные уравнения с (3) получим:

$$\begin{aligned} & -\frac{a_i a_{i-1}}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} y_{i-2} - \frac{b_{i-1} a_i}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} y_i + \\ & -\frac{b_{i-1} a_i}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} y_i + (a_i + b_i + d_i) y_i - \\ & -\frac{b_i a_{i+1}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} y_i - \frac{b_i b_{i+1} y_{i+2}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} = \\ & = \frac{f_{i-1} a_i}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} + f_i + \frac{f_{i+1} b_i}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}}. \end{aligned}$$

Выполнив группировку слагаемых, получим выражение вида:

$$\begin{aligned} & -\frac{a_i a_{i-1}}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} y_{i-2} + \\ & + y_i \left(a_i + b_i + d_i - \frac{b_{i-1} a_i}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} - \frac{b_i a_{i+1}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} \right) - \\ & - \frac{b_i b_{i+1}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} y_{i+2} = \frac{a_i f_{i-1}}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} + \\ & + f_i + \frac{b_i}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} f_{i+1} \end{aligned}$$

Сгруппируем выражения при коэффициенте y_i , получим:

$$\begin{aligned} & -\frac{a_i a_{i-1}}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} y_{i-2} + \\ & + \left(\frac{a_i a_{i-1} + a_i d_{i-1}}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} + d_i + \frac{b_i b_{i+1} + b_i d_{i+1}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} \right) y_i \quad (5) \\ & - \frac{b_i b_{i+1}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} y_{i+2} = \\ & = \frac{a_i f_{i-1}}{a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1}} + f_i + \frac{b_i f_{i+1}}{a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1}} \end{aligned}$$

Введя обозначения систему (5) можно записать в виде:

$$-a_i^{(1)} y_{i-2} + (a_i^{(1)} + b_i^{(1)} + d_i^{(1)}) y_i - b_i^{(1)} y_{i+2} = f_i^{(1)}, \quad (5')$$

$$i=2, 4, 6, \dots, N-2, \quad y_0 = 0, y_N = 0,$$

где $a_i^{(1)} = \alpha_i^{(1)} a_{i-1}$, $b_i^{(1)} = \beta_i^{(1)} b_{i+1}$, $d_i^{(1)} = \alpha_i^{(1)} d_{i-1} + d_i + \beta_i^{(1)} d_{i+1}$, $f_i^{(1)} = \alpha_i^{(1)} f_{i-1} + f_i + \beta_i^{(1)} f_{i+1}$;

$$\alpha_i^{(1)} = \frac{a_i}{(a_{i-1} + b_{i-1} + d_{i-1})}; \quad \beta_i^{(1)} = \frac{a_i}{(a_{i+1} + b_{i+1} + d_{i+1})}.$$

Если неизвестные с нечетными номерами, удовлетворяющие системе (5), будут найдены, то остальные неизвестные определяются по формуле

$$y_i = \frac{f_i + a_i y_{i-1} + b_i y_{i+1}}{a_i + b_i + d_i}, \quad i=1, 3, 5, \dots, N-1.$$

Описанный процесс исключения неизвестных может быть применен к системе (5), из которой на втором шаге будут исключены неизвестные с номерами, кратными 2, но не кратными 4. В результате 1-го шага процесса исключения получим систему

$$-a_i^{(l)} y_{i-2^l} + (a_i^{(l)} + b_i^{(l)} + d_i^{(l)}) y_i - b_i^{(l)} y_{i+2^l} = f_i^{(l)}, \quad (6)$$

$$i = 2^l, 2 \cdot 2^l, 3 \cdot 2^l, \dots, N - 2^l, \quad y_0 = 0, y_N = 0,$$

где

$$a_i^{(l)} = \alpha_i^{(l)} a_{i-2^{l-1}}, \quad b_i^{(l)} = \beta_i^{(l)} b_{i+2^{l-1}}, \quad d_i^{(l)} = \alpha_i^{(l)} d_{i-2^{l-1}} + d_i^{(l-1)} + \beta_i^{(l)} d_{i+2^{l-1}}, \quad f_i^{(l)} = \alpha_i^{(l)} f_{i-2^{l-1}} + f_i^{(l-1)} + \beta_i^{(l)} f_{i+2^{l-1}},$$

(7)

$$\alpha_i^{(l)} = a_i^{(l-1)} (a_{i-2^{l-1}}^{(l-1)} + b_{i-2^{l-1}}^{(l-1)} + d_{i-2^{l-1}}^{(l-1)})^{-1},$$

$$\beta_i^{(l)} = b_i^{(l-1)} (a_{i+2^{l-1}}^{(l-1)} + b_{i+2^{l-1}}^{(l-1)} + d_{i+2^{l-1}}^{(l-1)})^{-1},$$

$$i = 2^l, 2 \cdot 2^l, 3 \cdot 2^l, \dots, N - 2^l, \quad l \geq 1.$$

Здесь использованы обозначения $a_i^{(0)} = a_i$, $b_i^{(0)} = b_i$, $d_i^{(0)} = d_i$, $f_i^{(0)} = f_i$.

Процесс исключения закончится на $(n - 1)$ - м шаге, когда система (6) будет состоять из одного уравнения относительно неизвестного $y_{N/2} = y_{2^{n-1}}$. Из этого уравнения найдем

$$y_{2^{n-1}} = \frac{f_{2^{n-1}}^{(n-1)} + a_{2^{n-1}}^{(n-1)} y_0 + b_{2^{n-1}}^{(n-1)} y_N}{a_{2^{n-1}}^{(n-1)} + b_{2^{n-1}}^{(n-1)} + d_{2^{n-1}}^{(n-1)}}, \quad y_0 = y_N = 0. \quad (8)$$

Остальные неизвестные определяются по формулам

$$y_i = \frac{f_i^{(l)} + a_{i-2^l}^{(l)} y_{i-2^l} + b_i^{(l)} y_{i+2^l}}{a_i^{(l)} + b_i^{(l)} + d_i^{(l)}}, \quad (9)$$

$$i = 2^l, 3 \cdot 2^l, 5 \cdot 2^l, \dots, N - 2^l,$$

где $l = n - 2, n - 3, \dots, 0$, $y_0 = y_N = 0$. Формула (9) включает в себя формулу (8) при $l = n - 1$.

Итак, в методе редукции на прямом ходе по формулам (7) для $l = 1, 2, \dots, n - 1$ вычисляются $a_i^{(l)}, b_i^{(l)}, c_i^{(l)}, f_i^{(l)}$, а на обратном ходе по формуле (9) для $l = n - 1, n - 2, \dots, 0$ находится искомое решение.

Оценим временные затраты на реализацию данного алгоритма. Для реализации метода требуется $12N$ сложений, $10N$ умножений и $3N$ делений. Общее время выполнения вычислений складывается из времени вычисления коэффициентов a_i, b_i, d_i и правых частей f_i на прямом ходе и времени вычисления неизвестных y_i на обратном ходе. Для вычисления коэффициентов и правых частей требуется 18 операций на точку (8 умножений, 8 сложений, 2 деления). Для каждого шага $l = 1, 2, \dots, \log_2 N$ таких вычислений потребуется $(N - 2^l) / 2^l$. Для вычисления одного неизвестного y_i требуется 7 операций (2 умножения, 4 сложения и 1 деление). На каждом шаге $l = 0, 1, \dots, \log_2 N - 1$ определяется $(N / 2^l \cdot 2)$ таких неизвестных.

В итоге общее время на выполнение вычислений для последовательного алгоритма определяется следующим образом:

$$T_{ариф} = T_{np} + T_{обр} = 18t_a \sum_{l=1}^{\log_2 N-1} \left(\frac{N-2^l}{2^l} \right) + 7t_a \sum_{l=0}^{\log_2 N-1} \left(\frac{N}{2^l \cdot 2} \right) = 18t_a(N - \log_2 N - 1) + 7t_a(N - 1) \quad (10),$$

где N – размерность задачи; t_a – среднее время выполнения базовой арифметической операции (для простоты расчетов будет полагать, что все вычислительные операции имеют одинаковую длительность). Конечно, данное предположение вносит определенную погрешность при вычислении (10), т.к. во - первых, реальные длительности различных арифметических операций существенно отличаются друг от друга и, во - вторых, для получения более точной оценки необходимо учитывать совокупную скорость выполнения арифметических выражений на процессорном конвейере, а также особенности многоуровневой памяти. Поэтому при реализации на одной и той же МВС различных алгоритмов величина t_a различна. Для оценки t_a на практике используется следующий прием, предложенный в [2]: необходимо измерить время выполнения последовательного алгоритма при небольших объемах данных, которые полностью помещаются в кэш памяти, полностью исключив возможность обращения к оперативной памяти. Полученное время делится на количество выполненных операций и получается среднее время одной «базовой» операции для данного конкретного алгоритма.

Второй алгоритм метода. Рассмотрим еще один вариант метода циклической редукции для решения трехточечной разностной задачи вида (1). Идея данного алгоритма [15] также

заключается в циклическом исключении неизвестных из системы на каждом шаге $l=1, 2, \dots, \log_2 N - 1$, таким образом, чтобы остались y_i с индексами кратными 2^l .

Выпишем три подряд идущие уравнения системы (1) для индексов $i - 1, i+1$, где i – четное число, получим:

$$-a_{i-1}y_{i-2} + c_{i-1}y_{i-1} - b_{i-1}y_i = f_{i-1}, \quad (11)$$

$$-a_i y_{i-1} + c_i y_i - b_i y_{i+1} = f_i, \quad (12)$$

$$-a_{i+1}y_i + c_{i+1}y_{i+1} - b_{i+1}y_{i+2} = f_{i+1} \quad (13)$$

Умножая уравнение (11) на a_i/b_{i-1} , уравнение (13) на c_i/b_{i+1} и складывая полученные уравнения с (12), получим:

$$\begin{aligned} & -\frac{a_i a_{i-1}}{c_{i-1}} y_{i-2} - \frac{a_i b_{i-1}}{c_{i-1}} y_i - \frac{b_i a_{i+1}}{c_{i+1}} y_i + c_i y_i - \frac{b_i b_{i+1}}{c_{i+1}} y_{i+2} = \\ & = \frac{a_i}{c_{i-1}} f_{i-1} + f_i + \frac{b_i}{c_{i+1}} f_{i+1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Введем следующие обозначения:

$$a_i^{(1)} = p_i \cdot a_{i-1}; \quad b_i^{(1)} = q_i \cdot b_{i-1};$$

$$c_i^{(1)} = c_i - p_i \cdot b_{i-1} - q_i \cdot a_{i-1}; \quad f_i = f_i + p_i \cdot f_{i-1} + q_i \cdot f_{i+1}; \quad (15)$$

$$p_i = \frac{a_i}{c_{i-1}}; \quad q_i = \frac{b_i}{c_{i+1}}.$$

Тогда систему (14), содержащую неизвестные с четными индексами, с использованием введенных обозначений (15), можно записать следующим образом:

$$-a_i^{(1)} y_{i-2} + c_i^{(1)} y_i - b_i^{(1)} y_{i+2} = f_i^{(1)},$$

$$i=2, 4, 6, \dots, N-2, \quad y_0 = 0, y_N = 0,$$

Продолжая прямой ход на последнем $(n-1)$ -шаге получим систему:

$$-a_{N/2}^{(n-1)} y_0 + c_{N/2}^{(n-1)} y_{N/2} - b_{N/2}^{(n-1)} y_N = f_{N/2}^{(n-1)},$$

$$y_0 = 0, y_N = 0,$$

из которой определяем:

$$y_{2^{n-1}} = \frac{f_{2^{n-1}}^{(n-1)} + a_{2^{n-1}}^{(n-1)} y_0 + b_{2^{n-1}}^{(n-1)} y_N}{c_{2^{n-1}}^{(n-1)}}, \quad y_0 = y_N = 0.$$

Найденное значение затем используется для нахождения неизвестных на обратном ходе метода.

Итак, прямой ход метода заключается в вычислении коэффициентов и правых частей для $l=1, 2, \dots, n-1; n = \log_2 N$:

$$a_i^l = p_i \cdot a_{i-2^{l-1}}^{l-1}; \quad b_i^l = q_i \cdot b_{i+2^{l-1}}^{l-1};$$

$$c_i^l = c_i^{l-1} - p_i \cdot b_{i-2^{l-1}}^{l-1} - q_i \cdot a_{i+2^{l-1}}^{l-1};$$

$$f_i^l = f_i^{l-1} + p_i \cdot f_{i-2^{l-1}}^{l-1} + q_i \cdot f_{i+2^{l-1}}^{l-1}; \quad (16)$$

$$p_i = \frac{a_i^{l-1}}{b_{i-2^{l-1}}^{l-1}}; \quad q_i = \frac{c_i^{l-1}}{b_{i+2^{l-1}}^{l-1}}; \quad i = 2^l, 2 \cdot 2^l, 3 \cdot 2^l, \dots, N - 2^l.$$

На обратном ходе метода вычисляются неизвестные для $l = n, n-1, \dots, 2, 1$:

$$y_i = \frac{f_i^{(l-1)} + a_i^{(l-1)} y_{i-2^{l-1}} + b_i^{(l-1)} y_{i+2^{l-1}}}{c_i^{(l-1)}}, \quad i = 2^{l-1}, 2 \cdot 2^{l-1}, \dots, N - 2^{l-1} \quad (17).$$

Оценим временные затраты на реализацию второго варианта циклической редукции, описываемого формулами (16) и (17). Для реализации метода требуется $8N$ умножений, $6N$ сложений и $3N$ делений. Очевидно, что данный вариант метода требует меньшего числа арифметических операций, поэтому в дальнейшем, будем рассматривать реализацию этого метода на многопроцессорной вычислительной системе.

Для обозначения алгоритмов введем индекс, характеризующий способ реализации: (1) - последовательный, (p) - параллельный.

Выполним оценку времени выполнения последовательного алгоритма метода циклической редукции, которая складывается из времени вычислений и времени доступа к оперативной памяти:

$$T_{CR(1)} = T_{CR(1)}^{ap} + T_{CR(1)}^{OP},$$

где $T_{CR(1)}^{ap}$ – время выполнения арифметических операций; $T_{CR(1)}^{OP}$ – время доступа к оперативной памяти.

Общее время выполнения вычислений складывается из времени вычисления коэффициентов a_i , b_i , c_i и правых частей f_i на прямом ходе и времени вычисления неизвестных y_i на обратном ходе. Для вычисления коэффициентов и правых частей требуется 12 операций на точку (6 умножений, 4 сложения, 2 деления). Для каждого шага $l=1,2,\dots,\log_2 N$ таких вычислений потребуется $(N - 2^l) / 2^l$. Для вычисления одного неизвестного y_i требуется 5 операций (2 умножения, 2 сложения и 1 деление). На каждом шаге $l=0,1,\dots,\log_2 N - 1$ определяется $(N/2^l)$ таких неизвестных.

В итоге общее время на выполнение вычислений для последовательного алгоритма циклической редукции определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} T_{CR(1)}^{ap} &= T_{CR(1)}^{np} + T_{CR(1)}^{op} = \\ &= 12t_a \sum_{l=1}^{\log_2 N - 1} \left(\frac{N - 2^l}{2^l} \right) + 5t_a \sum_{l=0}^{\log_2 N - 1} \left(\frac{N}{2^l} \right) = 12t_a(N - \log_2 N - 1) + 5t_a(N - 1) \quad (18), \end{aligned}$$

где t_a – среднее время выполнения базовой арифметической операции; N – размерность задачи.

Рассмотрим временные затраты на извлечение необходимых данных из оперативной памяти. Воспользуемся методикой оценки, подробно рассмотренной в [2]. Поскольку для расчета коэффициентов и правых частей на l -ом шаге необходимы значения a, b, c и f с индексами i , $i - 2^{l-1}$, $i + 2^{l-1}$, рассчитанные на $(l - 1)$ -шаге, то количество извлекаемых данных на прямом ходе составит $12(N - \log_2 N - 1)$. На обратном ходе количество извлекаемых данных равно $6(N - 1)$. Время доступа к оперативной памяти $T_{CR(1)}^{OP}$ представим как результат деления объема извлекаемых данных на пропускную способность памяти β . Также для получения более точной оценки необходимо учитывать параметры конкретной вычислительной системы, а именно: размер считываемой кэш строки (64 байта); латентность доступа к памяти α и частоту возникновения кэш промахов γ ($0 \leq \gamma \leq 1$). В результате получаем:

$$T_{CR(1)}^{OP} = (18N - 12 \log_2 N - 18) \gamma (\alpha + 64 / \beta) \quad (19).$$

Тогда время выполнения последовательного алгоритма будет получено суммированием выражений (18) и (19):

$$T_{CR(1)} = 16 t_a (N - \log_2 N - 1) + 6 t_a (N - 1) + (18N - 12 \log_2 N - 18) \gamma (\alpha + 64 / \beta) \quad (20).$$

Параллельный алгоритм циклической редукции. Следует сразу отметить, что алгоритм циклической редукции обладает высоким уровнем параллелизма, поскольку операции вычисления коэффициентов и правых частей на прямом ходе, а также расчет значений неизвестных y_i на обратном ходе, могут выполняться одновременно и независимо на имеющихся вычислительных ядрах. Для параллельной реализации данного метода используем следующую схему декомпозиции данных [16]: в каждый вычислительный элемент загружается N/p данных, где p – общее количество вычислительных элементов. В общем случае $p = k_u \cdot k_p$, где k_u – количество узлов, k_p – количество вычислительных ядер в одном узле.

Для параллельного алгоритма метода циклической редукции, время выполнения описывается следующей формулой:

$$T_{CR(p)} = T_{CR(p)}^{ap} + T_{CR(p)}^{OP} + T_{CR(p)}^{обм} + \tau, \quad (21)$$

где $T_{CR(p)}^{ap}$ – время выполнения арифметических операций на p – вычислительных элементах (ядрах); $T_{CR(p)}^{OP}$ – время доступа к оперативной памяти; $T_{CR(p)}^{обм}$ – время выполнения операций обмена информацией между узлами; τ – время необходимое на организацию и закрытие параллельных секций. Следует заметить, что в формулу (21) можно было бы добавить еще одно слагаемое для получения более достоверной оценки, а именно, время простоев (ожидание) процессора, которое можно считать неизбежной платой за рассогласованность структуры алгоритма и конкретной МВС, на которой он выполняется. В виду сложности оценки данного времени, а также учитывая тот факт, что декомпозиция данных обеспечивает практически равномерную загрузку ядер, здесь и в дальнейшем данное слагаемое учитываться не будет.

Время выполнения арифметических операций определяется по формуле:

$$T_{CR(p)}^{ap} = T_{CR(p)}^{np} + T_{CR(p)}^{обп} = 12t_a \sum_{l=1}^{\log_2 N-1} \left\lceil \frac{N-2^l}{2^l p} \right\rceil + 5t_a \sum_{l=0}^{\log_2 N-1} \left\lceil \frac{N}{2^l 2p} \right\rceil,$$

где p – общее количество вычислительных элементов; квадратные скобки в формуле означают операцию выделения наименьшего целого, большего или равного данному. При определении времени на извлечение данных из оперативной памяти следует учитывать конструктивные особенности процессора. А именно, во многих многоядерных процессорах (особенно, Intel) ядра процессоров разделяют общий канал доступа к памяти. Несмотря на то, что вычисления ядрами выполняются параллельно, доступ к памяти осуществляется строго последовательно.

Величина $T_{CR(p)}^{OP}$, характеризующая временные затраты на извлечение из оперативной памяти необходимых данных, составит:

$$T_{CR(p)}^{OP} = \left(12 \sum_{l=1}^{\log_2 N-1} \left\lceil \frac{N-2^l}{2^l p} \right\rceil + 6 \sum_{l=0}^{\log_2 N-1} \left\lceil \frac{N}{2^l 2p} \right\rceil \right) \cdot \gamma(\alpha+64/\beta).$$

Чтобы оценить время выполнения операций обмена информацией, обрабатываемой в различных узлах вычислительной системы, воспользуемся введенными ранее обозначениями.

Тогда время на обмен между узлами определяется следующим образом:

$$T_{CR(p)}^{обм} = 9 \log_2(N-1) (\alpha_{uf} + 1 / \beta_{uf}) \text{ при } N/k_u = k_p;$$

$$T_{CR(p)}^{обм} = (8(\log_2 N - 1) + \log_2 p) (\alpha_{uf} + 1 / \beta_{uf}) \text{ при } N/k_u > k_p.$$

где α_{inf} – латентность (*latency*), определяющая время подготовки к передаче данных по сети; β_{inf} – пропускная способность сети (*bandwidth*), задающая объем передаваемых по сети за 1 секунду данных.

На рис.1 представлена схема информационных потоков, которыми необходимо обмениваться узлам вычислительной системы на прямом и обратном ходах выполнения алгоритма.

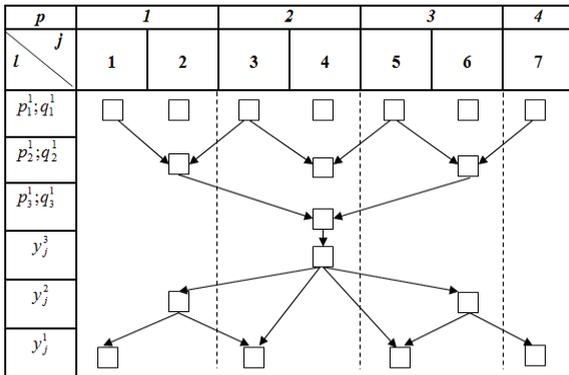


Рис.1. Структура информационных связей циклической редукции

Из рисунка видно, что и на прямом и на обратном ходах метода возникает необходимость в передаче полученных данных между процессорами. Причем на завершающих этапах прямого хода количество простаивающих процессоров с каждым шагом удваивается, аналогичная картина наблюдается на начальных шагах обратного хода.

Для оценки качества параллельного алгоритма используются характеристики, введенные ранее. График изменения коэффициента ускорения S_p в зависимости от размерности задачи N и числа вычислительных элементов (ядер) p представлен на рис.2.

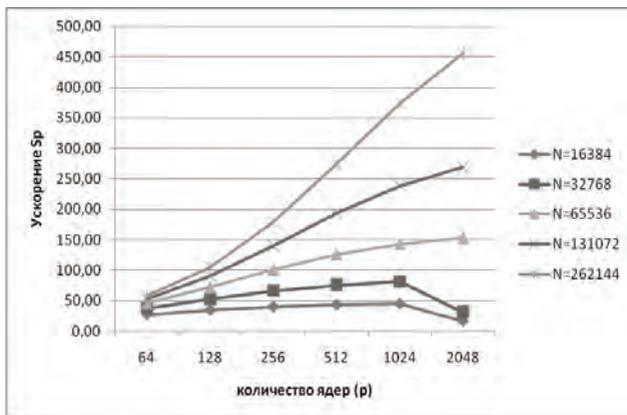


Рис.2. Метод циклической редукции. Графики изменения величины ускорения S_p в зависимости от N и p

На рис. 3 представлены графики изменения величины E_p , характеризующей среднюю долю времени выполнения алгоритма, в течение которой процессоры реально используются для решения задачи, в зависимости от размерности задачи N и числа вычислительных элементов (ядер) p .

Анализ представленных графиков показывает, что при небольших значениях N ($N \sim 10^4 - 10^5$), ускорение растет до определенного момента. Далее при увеличении числа вычислительных элементов (ядер) ускорение начинает падать. Это говорит о том, что по сравнению с объемом вычислений, приходящихся на одно ядро, время на обмены между узлами существенно увеличивается. Аналогично обстоит дело с эффективностью алгоритма (рис.3).

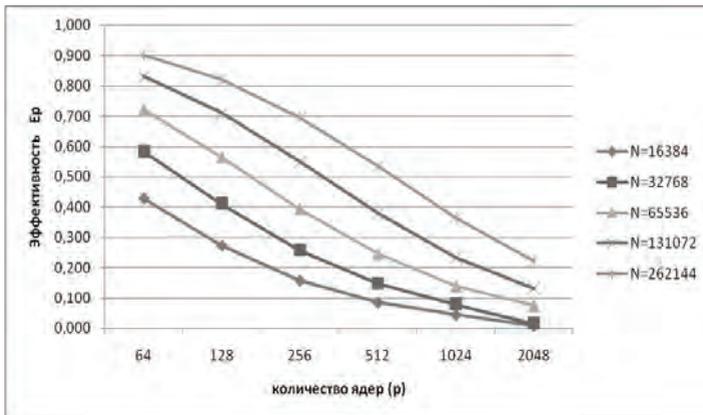


Рис.3. Метод циклической редукции. Графики изменения величины эффективности E_p в зависимости от N и p

Если считать приемлемыми значениями эффективности величины, попадающие в диапазон от 1 до 0,5, то совершенно очевидно, что использование такой системы эффективно только при решении задач размерности $N > 10^6$ с использованием количества вычислительных элементов не более 128 (для рассматриваемой системы это 8 узлов по 16 ядер в каждом).

2.2. Метод прогонки для трехточечных уравнений

Первый вариант метода прогонки. Пусть необходимо решить систему линейных уравнений:

$$-a_i y_{i-1} + c_i y_i - b_i y_{i+1} = f_i,$$

$$i = 0, \dots, N; a_0 = 0, b_N = 0.$$

Будем предполагать, что матрица имеет диагональное преобладание $|c_i| \geq |a_i| + |b_i|$ и система может иметь единственное решение.

Вычисление прогоночных коэффициентов на прямом ходе выполняется по формулам [14, с.34 - 37]:

$$p_0 = \frac{b_0}{c_0}; \quad q_0 = \frac{f_0}{c_0}; \quad p_i = \frac{b_i}{c_i - a_i \cdot p_{i-1}}; \quad q_i = \frac{f_i + a_i \cdot q_{i-1}}{c_i - a_i \cdot p_{i-1}}; \quad i=1, \dots, N-1.$$

На обратном ходе происходит вычисление неизвестных по формулам:

$$y_N = \frac{f_N + a_N \cdot q_{N-1}}{c_N - a_N \cdot p_{N-1}}; \quad y_i = p_i \cdot y_{i+1} + q_i, \quad i=N-1, \dots, 0.$$

Оценим временные затраты на реализацию данного алгоритма. Для реализации прямого хода метода требуется $6(N-1)+2$ операций и $2N+5$ - для обратного. Общее время выполнения вычислений составит $6(N-1)+2N+7$.

Второй вариант метода прогонки. Вычисление прогоночных коэффициентов на прямом ходе выполняется по формулам [14, с.37]:

$$r_N = \frac{a_N}{c_N}; \quad t_N = \frac{f_N}{c_N}; \quad r_i = \frac{a_i}{c_i - b_i \cdot r_{i+1}}; \quad t_i = \frac{f_i + b_i \cdot t_{i+1}}{c_i - b_i \cdot r_{i+1}}, \quad i=N-1, \dots, 1.$$

На обратном ходе происходит вычисление неизвестных по формулам:

$$y_0 = \frac{f_0 + b_0 \cdot t_1}{c_0 - b_0 \cdot r_1}; \quad y_i = r_i \cdot y_{i-1} + t_i, \quad i=1, \dots, N.$$

Схема вычисления прогоночных коэффициентов и неизвестных для первого и второго алгоритмов прогонки представлена на рис. 4.

0	1	2	3	4	5	6	7	8
$p_0; q_0$								$r_8; t_8$
	$p_1; q_1$						$r_7; t_7$	
		$p_2; q_2$				$r_6; t_6$		
			$p_3; q_3$		$r_5; t_5$			
				$p_4; q_4$ $r_4; t_4$				
					$r_3; t_3$	$p_2; q_2$		
			$r_2; t_2$				$p_1; q_1$	
	$r_1; t_1$							y_8
y_0								
	y_1							y_7
		y_2						y_6
			y_3		y_5			
				y_4 y_4				
				y_5		y_5		
			y_6				y_6	
				y_7				y_7
y_8	Первый алгоритм				Второй алгоритм			y_8

Рис.4. Вычисление коэффициентов и неизвестных для двух алгоритмов метода прогонки

Временные затраты на реализацию второго алгоритма полностью совпадают с первым алгоритмом.

Метод встречных прогонок. Чтобы получить вариант метода прогонки, в котором вычисления прогоночных коэффициентов могут проводиться одновременно и независимо, нужно применить формулы первого варианта метода прогонки (расчет прогоночных коэффициентов $\{p_i\}, \{q_i\}$) для $i=0, \dots, N/2 - 1$, и второго (расчет прогоночных коэффициентов $\{r_i\}, \{t_i\}$) – для $i=N, \dots, N/2 + 1$ [14, с.37 - 38] (рис. 5).

0	1	2	3	4	5	6	7	8
$p_0; q_0$								$r_8; t_8$
	$p_1; q_1$							$r_7; t_7$
		$p_2; q_2$						$r_6; t_6$
			$p_3; q_3$			$r_5; t_5$		
				y_4				
			y_3		y_5			
		y_2				y_6		
	y_1						y_7	
y_0								y_8

Рис. 5. Схема вычислений для метода встречных прогонок

Вычислив значение $y_{N/2}$ по формуле

$$y_{N/2} = \frac{f_{N/2} + a_{N/2} \cdot q_{N/2-1} + b_{N/2} \cdot t_{N/2+1}}{c_{N/2} - a_{N/2} \cdot p_{N/2-1} - b_{N/2} \cdot r_{N/2+1}}$$

можно одновременно и независимо вычислить остальные неизвестные по формулам

$$y_i = p_i \cdot y_{i+1} + q_i, \quad i = N/2 - 1, \dots, 0;$$

$$y_i = r_i \cdot y_{i-1} + t_i, \quad i = N/2 + 1, \dots, N.$$

Выполним оценку времени выполнения последовательного алгоритма метода прогонки, которая складывается из времени вычислений и времени доступа к оперативной памяти:

$$T_{PR(1)} = T_{PR(1)}^{ap} + T_{PR(1)}^{оп},$$

где $T_{PR(1)}^{ap}$ – время выполнения арифметических операций; $T_{PR(1)}^{оп}$ – время доступа к памяти.

Общее время выполнения вычислений складывается из времени вычисления прогоночных коэффициентов на прямом ходе и времени вычисления неизвестных y_i на обратном ходе. Для вычисления прогоночных коэффициентов требуется $2N$ операций деления, $2(N - 1)$ операций умножения и $2(N - 1)$ операций сложения и вычитания. Если не делать различия между арифметическими операциями, то общее число арифметических операций для прямого хода составит $6(N - 4)$. Для вычисления неизвестных на обратном ходе требуется $5 + 2N$ операций.

В итоге общее время на выполнение вычислений для последовательного алгоритма определяется следующим образом:

$$T_{PR(1)}^{ap} = T_{PR(1)}^{np} + T_{PR(1)}^{obp} = (6(N-1) + 2 + 2N + 5)t_a = (8N+1)t_a, \quad (22)$$

где t_a – среднее время выполнения базовой арифметической операции; N – размерность задачи.

Рассмотрим временные затраты на извлечение необходимых данных из оперативной памяти. Для расчета прогоночных коэффициентов на прямом ходе необходимы значения a, b, c и f , а также рассчитанные на предыдущем шаге значения p_i и q_i , на обратном ходе для вычисления неизвестных потребуются значения p_i и q_i . Время доступа к оперативной памяти $T_{PR(1)}^{OI}$ представим как результат деления объема извлекаемых данных на пропускную способность памяти β . Также учтем параметры конкретной вычислительной системы, а именно: размер считываемой кэш строки (64 байта); латентность доступа к памяти α и частоту возникновения кэш промахов γ ($0 \leq \gamma \leq 1$). В результате получаем:

$$T_{PR(1)}^{OI} = \gamma \left(\alpha + 6 \frac{64}{\beta} \right) (N-1) + \gamma \left(\alpha + 2 \frac{64}{\beta} \right) (N-1) \quad (23).$$

Первое слагаемое характеризует время на извлечение данных на прямом ходе, второе – на обратном. Время выполнения последовательного алгоритма будет получено суммированием выражений (22) и (23):

$$T_{PR(1)} = (8N+1) \cdot t_a + \gamma \left(\alpha + 6 \frac{64}{\beta} \right) (N-1) + \gamma \left(\alpha + 2 \frac{64}{\beta} \right) (N-1) \quad (24).$$

Параллельный вариант метода прогонки. Идея метода встречных прогонок была обобщена в работе [5, с.139 - 146] на случай многопроцессорной системы. Последовательность шагов при параллельной реализации метода прогонки можно разбить на следующие этапы.

Предварительно, для получения однородного алгоритма для неизвестных системы вводятся локальные индексы:

$$y_i = y_{j+km} = y_j^{(k)}, \quad i=0, \dots, N; \quad j=0, \dots, m; \quad k=0, \dots, p-1. \quad (25)$$

При этом принимается, что

$$y_m^{(k-1)} = y_0^{(k)} = y_k, \quad k=1, \dots, p-1; \quad \overline{y_0} = y_0; \quad \overline{y_p} = y_N.$$

На первом этапе определяются коэффициенты $\{v_j^{(k)}\}$; $\{z_j^{(k)}\}$ и $\{w_j^{(k)}\}$ из решения следующих систем:

$$\begin{aligned} -a_{j+km} v_{j-1}^{(k)} + c_{j+km} v_j^{(k)} - b_{j+km} v_{j+1}^{(k)} &= 0; \quad j=1, \dots, m-1; \quad v_0^{(k)} = 1, \quad v_m^{(k)} = 0; \\ -a_{j+km} z_{j-1}^{(k)} + c_{j+km} z_j^{(k)} - b_{j+km} z_{j+1}^{(k)} &= 0; \quad j=1, \dots, m-1; \quad z_0^{(k)} = 0, \quad z_m^{(k)} = 1; \quad (26) \\ -a_{j+km} w_{j-1}^{(k)} + c_{j+km} w_j^{(k)} - b_{j+km} w_{j+1}^{(k)} &= f_{j+km}; \quad j=1, \dots, m-1; \quad w_0^{(k)} = 0, \quad w_m^{(k)} = 0; \end{aligned}$$

Затем после вычисления коэффициентов рассматриваются неиспользованные ранее уравнения для $i=0, m, 2m, \dots, pm$, в которых предварительно исключаются все «непараметрические» неизвестные и производится построение системы уравнений для параметрических неизвестных $\{\overline{y_k}\}$:

$$\begin{aligned} -a_{km} v_{m-1}^{(k)} \overline{y_{k-1}} + (c_{km} - a_{km} z_{m-1}^{(k)} - b_{km} v_1^{(k)}) \overline{y_k} - b_{km} z_1^{(k)} \overline{y_{k+1}} &= \\ = f_{km} + a_{km} w_{m-1}^{(k)} + b_{km} w_1^{(k)}; \end{aligned} \quad (27)$$

$$k=0, \dots, p.$$

Решая систему (27) обычным последовательным методом прогонки, определяем $\{\overline{y_k}\}$. Далее, на заключительном этапе, для нахождения неизвестных $\{y_j\}$ подставим значения $\{\overline{y_k}\}$, найденные при решении системы (27), и коэффициенты $\{v_j^{(k)}\}$; $\{z_j^{(k)}\}$ и $\{w_j^{(k)}\}$, определенные после решения систем (25), в систему уравнений:

$$y_i^{(k)} = v_j^{(k)} \cdot \overline{y_\mu} + z_j^{(k)} \cdot \overline{y_{\mu+1}} + w_j^{(k)}; j=0, \dots, m; k=0, \dots, p-1 \quad (28).$$

Для реализации параллельного алгоритма рассмотренного метода исходная система уравнений разбивается на подсистемы, количество которых должно совпадать с количеством используемых вычислительных элементов p . При этом декомпозиция данных осуществляется таким образом, чтобы каждый k -ый процессор обрабатывал $m+1$ уравнений, где $m=N/p$.

Оценка эффективности параллельного алгоритма прогонки. Для параллельного алгоритма метода прогонки, время выполнения составит:

$$T_{PR(p)} = T_{PR(p)}^{ap} + T_{PR(p)}^{OP} + T_{PR(p)}^{обм} + \tau \quad (29),$$

где $T_{PR(p)}^{ap}$ – время выполнения арифметических операций на p - вычислительных ядрах; $T_{PR(p)}^{OP}$ - время доступа к оперативной памяти; $T_{PR(p)}^{обм}$ - время выполнения операций обмена информацией между узлами по сети; τ - время необходимое на организацию и закрытие параллельных секций.

На первом этапе (вычисление коэффициентов) каждому процессору требуется выполнить $13N/(k_u \cdot k_p)$ операций, одновременно и независимо. Для вычисления коэффициентов системы для «параметрических» неизвестных и нахождения ее решения требуется $18p+23$ операций. При этом на данном этапе потребуется передать $6 \cdot k_u$ чисел для расчета коэффициентов и $N/(2 \cdot k_u)$ чисел («параметрических» неизвестных»). На последнем этапе оставшиеся «непараметрические» неизвестные вычисляются одновременно и независимо за $4N/(k_u \cdot k_p)$ операций. Итак, время выполнения арифметических операций определяется по формуле:

$$T_{PR(p)}^{ap} = \left(17 \cdot \frac{N}{k_u \cdot k_p} + 18 \cdot k_u + 23 \right) \cdot t_a$$

где N – размерность задачи; k_u – общее количество узлов; k_p - количество ядер в одном узле; t_a - среднее время выполнения арифметической операции.

Величина $T_{PR(p)}^{OP}$, характеризующая временные затраты на извлечение из оперативной памяти необходимых данных, составит:

$$T_{PR(p)}^{OP} = \gamma \left(\alpha + 8 \frac{64}{\beta} \right) \left(\frac{N}{k_u \cdot k_p} - 1 \right) + \gamma \left(\alpha + 7 \frac{64}{\beta} \right) (\log_2 N - 1) + \gamma \left(\alpha + \frac{64}{\beta} \left(\frac{N}{2 \cdot k_u \cdot k_p} + \frac{3 \cdot N}{k_u \cdot k_p} + 1 \right) \right).$$

Время выполнения операций обмена информацией, обрабатываемой в различных узлах вычислительной системы, вычисляется по формуле:

$$T_{PR(p)}^{обм} = k_u \cdot \left(2 \cdot \alpha_{inf} + \frac{8}{\beta_{inf}} \right),$$

где α_{inf} – латентность, определяющая время подготовки к передаче данных по сети; β_{inf} – пропускная способность сети, задающая объем передаваемых по сети за 1 секунду данных.

Для оценки качества параллельного алгоритма используются характеристики, введенные ранее. График изменения коэффициента ускорения S_p в зависимости от размерности задачи N и числа вычислительных элементов (ядер) p представлен на рис.6.

На рис. 7 представлены графики изменения величины E_p , характеризующей среднюю долю времени выполнения алгоритма, в течение которой процессоры реально используются для решения задачи, в зависимости от размерности задачи N и числа вычислительных элементов (ядер) p .

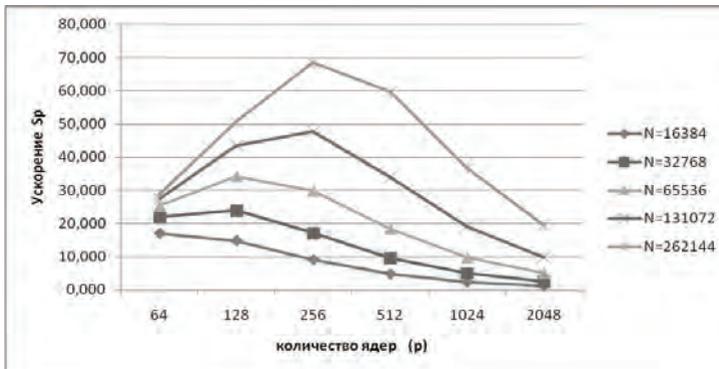


Рис.6. Метод прогонки. Графики изменения величины ускорения S_p в зависимости от N и p

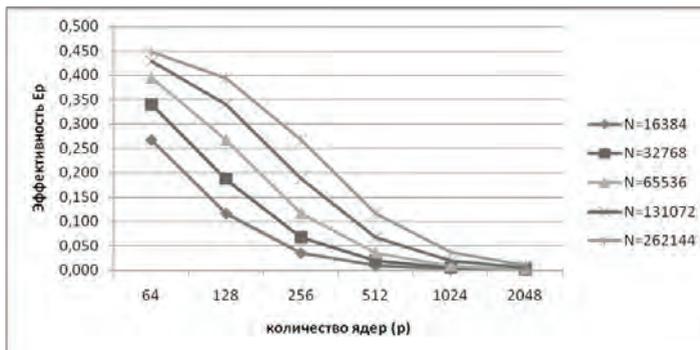


Рис.7. Метод прогонки. Графики изменения величины эффективности E_p в зависимости от N и p

Анализ поведения коэффициента ускорения в зависимости от количества используемых ядер и размерности трехдиагональной системы показывает, что параллельный алгоритм прогонки дает ускорение только при решении задач большой размерности (более 10^5) на небольшом количестве ядер (не более 64). Если считать приемлемыми значениями коэффициента эффективности величины не менее 0,5, то ни для каких размерностей

трехдиагональных систем параллельный алгоритм не является эффективным при параллельной реализации на супервычислительной системе ЮФУ (г. Таганрог).

Полученные результаты показывают, что на отдельных этапах решения разностных задач математической физики быстрыми прямыми методами на НРС - кластере циклическую редукцию можно использовать в параллельных алгоритмах, которые используют декомпозицию данных, предполагающую параллельное выполнение метода. Что касается метода прогонки, то его целесообразно использовать в алгоритмах, предполагающих такую декомпозицию данных, когда алгоритм реализуется последовательно.

Список использованной литературы:

1. Георги М.Ю., Иванов К.А., Лапин Д.В., Лагунцов Е.Н., Самоваров О.И., Стрижак С.В., Сухинов А.И., Целых А.Н. Многопроцессорная вычислительная система ТТИ ЮФУ. // В материалах Всероссийской суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность». - М.: Изд - во МГУ, 2009. - С. 320 - 331.
2. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем: учебное пособие. – Н.Новгород: Изд - во ННГУ им. Н.И.Лобачевского, 2010. – 425с.
3. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: учебное пособие. - М.: Изд - во Моск. университета, 2012. - 344с.
4. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. - М.: Наука, 1978. - 592с.
5. Яненко Н.Н., Коновалов А.Н., Бугров А.Н., Шустов Г.В. Об организации параллельных вычислений и «распараллеливании» прогонки. // Численные методы механики сплошной среды. - 1978. - №7. – С.139 - 146.
6. Попов А.В. Решение задач линейной алгебры с разреженными симметричными матрицами на MIMD - компьютере. // Искусственный интеллект. – №4. - 2006, С.248 - 257.
7. Фролов А.В. Ещё один метод распараллеливания прогонки с использованием ассоциативности операций. // В сб. трудов межд. конф. "Суперкомпьютерные дни в России". - 2015, С.151 - 162.
8. Stone H.S. Parallel Tridiagonal Equation Solvers // ACM Trans. on Math. Software, Vol. 1, №4 (Dec. 1975), P. 289 - 307.
9. Buneman O. A Compact Non - iterative Poisson Solver // Rep. 294, Inst. for Plasma Res., StanfordU., Stanford, Calif., 1969.
10. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. - М.: Наука, 1984.
11. Сухинов А.И. Двумерные схемы расщепления и некоторые их приложения. - М.: МАКС Пресс, 2005. - 408с.
12. Овчаренко О.И. Исследование и разработка параллельных алгоритмов быстрых прямых методов для решения разностных задач математической физики: автореферат дис. к - та техн. наук / Овчаренко О.И. - / Таганрог, 1992. - 20 с.
13. Овчаренко О.И. Параллельная реализация быстрых прямых методов решения сеточных эллиптических уравнений. Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. - №9(86). - С.202 - 207.

14. Самарский А.А. Введение в численные методы: учеб. пособие для вузов. - М. : Высш. шк., 2002. - 840 с.

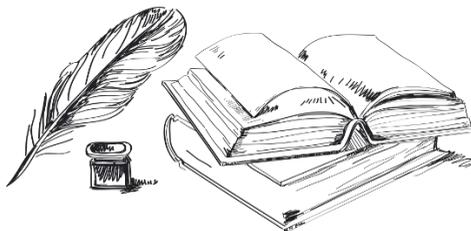
15. Старченко А.В. Введение в методы параллельных вычислений. [Электронный ресурс] // Мех. - матем. факультет ТГУ [Официальный сайт]. URL: [http://www.math.tsu.ru/sites/default/files/mmf2/e-resources/Introduction_to_Parallel_Computations_L6\(6\).pdf](http://www.math.tsu.ru/sites/default/files/mmf2/e-resources/Introduction_to_Parallel_Computations_L6(6).pdf) (дата обращения: 25.01.2016).

16. Овчаренко О.И. Построение модели для оценки эффективности параллельного алгоритма циклической редукции. // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2014. - №2(20). - С.74 - 75.

© А.И. Сухинов, О.И.Овчаренко, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

А.В. Ананьин СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОДНОЧАСТОТНЫХ СЕТЕЙ ЭФИРНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ	4
Ю.А.Балакин, А.А.Будник, И.В.Соколов ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА, КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ, МЕТОДОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА	20
Н.А. Грибова РАЗВИТИЕ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПЛОДОВО - ЯГОДНОЙ ПРОДУКЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	32
Емельянов В.А., Емельянова Н.Ю. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ	54
Келбиханов Р.К. КВАЗИЗАМКНУТЫЙ МЕТОД ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРА	69
Мамаев А.Н., Балабина Т.А. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ПОКАЗАТЕЛИ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ	88
В.М. Радомский КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА, СОЗДАННАЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ И ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	105
Т.А. Рафальская ТЕПЛОВЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	116
А.И. Сухинов, О.И. Овчаренко АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ТРЕХДИАГОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ НА НРС – КЛАСТЕРЕ	171



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас принять участие в Международных научно-практических конференциях проводимых нашим центром.

Форма проведения конференций: заочная, без указания формы проведения в сборнике статей;

По итогам конференций издаются сборники статей. Сборникам присваиваются соответствующие библиотечные индексы УДК, ББК и международный стандартный книжный номер (ISBN)

Всем участникам высылается индивидуальный сертификат участника, подтверждающий участие в конференции.

В течение 10 дней после проведения конференции сборники статей размещаются на сайте aeterna-ufa.ru, а также отправляются в почтовые отделения для осуществления рассылки. Рассылка сборников производится заказными бандеролями.

Сборники статей размещаются в научной электронной библиотеке elibrary.ru и регистрируются в наукометрической базе **РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)**

Стоимость публикации от 130 руб. за 1 страницу. Минимальный объем - 3 страницы

С информацией и полным списком конференций Вы можете ознакомиться на нашем сайте aeterna-ufa.ru

Научно-издательский центр «Аэтерна»

<http://aeterna-ufa.ru> +7 (347) 266 60 68 _____ info@aeterna-ufa.ru



ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА

ISSN 2410-6070

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ №ФС77-61597

Договор о размещении журнала в НЭБ (РИНЦ, elibrary.ru)

№103-02/2015

Договор о размещении журнала в "КиберЛенинке" (cyberleninka.ru)

№32505-01

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**Приглашаем Вас опубликовать результаты исследований в
Международном научном журнале «Инновационная наука»**

Журнал «Инновационная наука» является ежемесячным изданием. В нем публикуются статьи, обладающие научной новизной и представляющие собой результаты завершенных исследований, проблемного или научно-практического характера.

Периодичность выхода: 1 раз месяц. Статьи принимаются до 12 числа каждого месяца. В течение 20 дней после издания журнал направляется в почтовые отделения для осуществления рассылки.

Журнал размещён в научной электронной библиотеке **elibrary.ru** и зарегистрирован в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)

Научно-издательский центр «Аэтерна»

<http://aeterna-ufa.ru>

+7 (347) 266 60 68

science@aeterna-ufa.ru

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ
АСПЕКТЫ**

КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

В авторской редакции

Подписано в печать 24.05.2016 г. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 14,30. Тираж 500. Заказ 426.

**Отпечатано в редакционно-издательском отделе
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «АЭТЕРНА»**

450076, г. Уфа, ул. М. Гафури 27/2

<http://aeterna-ufa.ru>

info@aeterna-ufa.ru

+7 (347) 266 60 68