

*На правах рукописи*

**Кашина Ольга Викторовна**

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ  
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА МАСЛОЖИРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Специальность 03.00.16 - Экология

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново-2008

Работа выполнена в ГОУВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет» на кафедре общей химической технологии.

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, доцент  
Невский Александр Владимирович

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор  
Макаров Владимир Михайлович,  
Ярославский государственный  
технический университет

доктор технических наук, профессор  
Бельчинская Лариса Ивановна,  
Воронежская государственная  
лесотехническая академия

**Ведущая организация:**

Московский государственный университет  
инженерной экологии

Защита состоится 29 сентября 2008 г. в 15 часов в ауд. Г 205 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.063.02 при ГОУВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 10.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 г.

Ученый секретарь совета  
по защите докторских и кандидатских  
диссертаций

Гришина Е.П.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы.

Концептуальные положения теории устойчивого социально-экономического развития предусматривают создание ресурсосберегающих экологически безопасных производств, основу которых составляют эффективно действующие химико-технологические системы (ХТС). Особый интерес в связи с этим представляет изучение принципов **анализа и синтеза (проектирования)** ресурсосберегающих ХТС промышленных предприятий на основе изучения физико-химической сути технологических процессов, рассмотрения их термодинамических, технологических, экологических и экономических особенностей.

В условиях становления рыночной экономики и различных форм собственности, дальнейшее развитие получает **масложировая отрасль** пищевой промышленности. Однако, происходящее в настоящее время техническое перевооружение масложировых производств не всегда касается изменения ресурсоемкого подхода к их организации.

Нисходящую иерархию анализа объекта исследования строили в соответствии с технологической организацией по схеме: «масложировое производство в целом» – «цех по выпуску конкретной продукции» – «технологическая линия» – «технологическая операция» – «технологическое оборудование». Восходящая иерархия синтеза подчинялась обратной последовательности. Эколого-технологический анализ функционирования масложировых предприятий показал, что большинство их водоиспользующих технологических процессов представляют собой незамкнутые системы, в которых получение целевого продукта требует существенных затрат сырьевых (в частности, свежей воды) и энергетических ресурсов и сопровождается образованием большого объема отработанной воды. Сброс недостаточно очищенных сточных вод данных производств осуществляется в водотоки, примерно, тридцати крупных рек России, входящих в двадцать водных бассейнов страны. Особенно остро стоит проблема антропогенного загрязнения водного бассейна в регионах с развитой промышленной инфраструктурой, в частности, в Центральном, Приволжском, Южном Федеральных округах России.

В этой связи разработка и развитие методологии проектирования ресурсосберегающих ХТС водного хозяйства (водных ХТС – (ВХТС)) масложировых производств с целью повышения их технико-экономической эффективности и экологической безопасности является актуальной научной проблемой.

Содержание работы соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации: экология и рациональное природопользование; производственные технологии; а также перечню критических технологий Российской Федерации: природоохранные технологии, переработка и утилизация техногенных образований и отходов; снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф.

Работа выполнена в соответствии с планом проекта Минобразования РФ № 01.03.005: «Научные основы и новые принципы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем водопотребления промышленных предприятий» и гранта № 04-05-78035 Российского фонда фундаментальных исследований.

**Цель работы:** развитие методологии анализа и синтеза ресурсосберегающих систем водного хозяйства промышленных предприятий и ее применение для проектирования научно-обоснованной ресурсосберегающей ВХТС масложировых производств, обеспечивающей сокращение удельных нормативов потребления

свежей воды и отведения сточных вод, уменьшение массы сброса загрязняющих веществ (ЗВ) в водоемы со сточными водами, высокоэффективную технологию локальной обработки сточных вод для их повторного использования.

### **Задачи работы.**

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) провести комплексный эколого-технологический анализ основных производственных процессов действующих предприятий по выпуску масложировой продукции, способов организации и режимов эксплуатации их систем водопотребления и водоотведения;
- 2) применить термодинамический эксергетический метод анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий, позволяющий научно аргументировать решение проблемы разделения - смешения водных технологических потоков масложировых предприятий;
- 3) применить водный термодинамический пинч-метод анализа и синтеза высокоэффективных ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий с целью обеспечения существенного сокращения удельных нормативов потребления свежей воды и отведения сточных вод масложировыми предприятиями;
- 4) обосновать применение высокоэффективной технологии локальной очистки отработанной воды масложировых производств.

### **Научная новизна.**

В ходе работы получены результаты, свидетельствующие о новом вкладе в теорию создания ресурсосберегающих систем водного хозяйства промышленных предприятий, а именно:

- 1) на базе термодинамического подхода показана возможность применения методологии анализа и синтеза ресурсосберегающих систем водного хозяйства промышленных предприятий для проектирования ресурсосберегающей ВХТС масложировых производств;
- 2) предложена методика учета изменения величины эксергии в процессе смешения подпотоков производственных подразделений (цехов) при использовании термодинамического эксергетического метода анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий;
- 3) предложена методика оптимизации поэтапного проектирования при использовании водного термодинамического пинч-метода анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий.

### **Практическое значение.**

На основании научных результатов исследования, выводов и обобщений, сделанных в ходе работы, предприняты шаги к их реализации:

- 1) разработана ресурсосберегающая ВХТС масложирового производства, представляющая собой сочетание систем: разделения-смешивания объема технологической воды производства на индивидуальные потоки подразделений (цехов); повторно-последовательного использования технологической воды; высокоэффективной локальной обработки сточных вод; водооборотной системы технологической воды; контроля качества технологической воды и продуктов ее обработки; оценки эколого-экономической эффективности ВХТС;
- 2) предложены способы энергоресурсосбережения при функционировании масложировых производств: снижение удельных норм водопотребления и водоотведения, повторное использование в основной технологии оборотной воды, парового конденсата, очищенной сточной воды;

3) разработаны проектные решения по созданию ВХТС локальной обработки сточных вод масложировых производств, рассчитаны технологические и конструкционные параметры основных узлов ее аппаратного оформления.

Объектами исследования и экспериментальной проверки полученных результатов были предприятия: ОАО «Ивановский маргариновый завод» (г. Иваново); ОАО «Шуйский маслоэкстракционный завод» (г. Шуя, Ивановской обл.); ООО «Владгазинвест» (п. Мелехово, Ковровский р-н, Владимирской обл.).

Свидетельством практического значения работы являются заключения о возможности внедрении ее результатов на ОАО «Шуйский маслоэкстракционный завод» (г. Шуя, Ивановской обл.) и ООО «Владгазинвест» (п. Мелехово, Ковровский р-н, Владимирской обл.).

#### **Надежность результатов и достоверность выводов.**

Надежность полученных результатов обеспечена: 1) использованием классического аппарата математического описания основных термодинамических закономерностей процессов в жидкофазных системах, 2) использованием исходных данных, описывающих технологические процессы, полученных на действующих в настоящее время промышленных предприятиях, 3) применением современной вычислительной техники на базе персональных компьютеров. Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций, сделанных в работе, обусловлена их соответствием фундаментальным представлениям о способах энергоресурсосбережения в промышленности.

**Апробация работы.** Основные результаты работы доложены и обсуждены на: научно-технической конференции «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», г.Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004г.; II-ой Всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука - региону», г.Вологда, ВоГТУ, 2004 г.; отчетной научной конференции «Химические технологии», г. Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004 г.; международной научно-технической конференции «Проблемы экологии на пути к устойчивому развитию регионов», г.Вологда, ВоГТУ, 2005 г.; Межвузовской научно-практической конференции «Экологические проблемы Ивановской области», г. Иваново, 2005 г.; международной научно-практической конференции «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (МНПК «ЛЭРЭП-2-2007»), г.Саратов, 2007г.; the 5-th China-Russia-Korea International Symposium on Chemical Engineering and New Material Science, Ivanovo, Russia. ISUCT, 2007; XVIII-ом Менделеевском съезде по общей и прикладной химии, г. Москва, 2007 г.

#### **На защиту выносятся:**

- 1) **структура** ресурсосберегающей системы водного хозяйства масложировых производств;
- 2) **методика учета** изменения величины эксергии в процессе смешения подпотоков производственных подразделений (цехов) при использовании термодинамического эксергетического метода анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий;
- 3) **методика оптимизации** поэтапного проектирования при использовании термодинамического пинч-метода анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий;
- 4) **способы энергоресурсосбережения** при функционировании масложировых производств: снижение удельных норм водопотребления и водоотведения,

повторное использование в основной технологии оборотной воды, парового конденсата, очищенной сточной воды;

- 5) **структура** ВХТС локальной обработки сточных вод масложировых производств.

**Личный вклад автора** заключается в участии в формулировке цели и задач исследования, проведении эколого-технологического анализа функционирования ряда действующих масложировых производств, получении и обработке экспериментальных данных по разработке структур энергоресурсосберегающей ВХТС масложировых производств и ВХТС локальной обработки сточных вод данных производств, обсуждении результатов работы и ее апробации.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 научных трудов.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа изложена на 162-х страницах, содержит 29 рисунков, 21 таблицу; состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, основных выводов, списка используемой литературы (176 наименований) и приложения (объемом 52 страницы).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность решаемой проблемы, дана краткая характеристика экологических проблем масложировых производств пищевой промышленности, предложено, что одним из путей повышения эффективности масложировых предприятий может стать внедрение в производство ресурсосберегающих химико-технологических систем их водного хозяйства.

В разделе **«Общая характеристика работы»** сформулированы цель и задачи исследования, обоснованы научная новизна и практическое значение работы.

**Первая глава** посвящена эколого-технологическому анализу производственных процессов действующих предприятий по выпуску масложировой продукции и содержит 4 раздела.

В **первом разделе** дан эколого-технологический анализ основных производственных процессов масложировых предприятий: экстракции и рафинации в производстве растительных масел, производства майонеза. В результате проведенного мониторинга показано, что данные производства представляют серьезную экологическую опасность, особенно в отношении воздействия на гидросферу.

Во **втором разделе** проведен анализ способов организации и режимов эксплуатации систем водопотребления и водоотведения масложировых производств. Установлено, что традиционным подходом к организации систем водного хозяйства данных предприятий является использование прямоочного водоснабжения и объединение отработанной технологической воды (сточных вод) отдельных подразделений (цехов) после грубой механической очистки перед их отведением в систему канализации населенного пункта. Приведены аргументы в пользу организации замкнутых систем водоснабжения с повторно-последовательным использованием технологической воды.

**Третий раздел** посвящен анализу качества сточных вод масложировых производств, выбору критериальных загрязняющих веществ, их характеристике с точки зрения экологической опасности. Показано, что данные производства являются источником попадания в технологическую воду и водоемы комплекса загрязняющих веществ, а качественный состав сточных вод по основным ингредиентам, чаще всего, не отвечает требованиям на сброс в системы канализации населенных пунктов.

Нарушения санитарных норм при отведении сточных вод наблюдаются, в основном, по таким показателям, как жиры, химическое потребление кислорода (ХПК), взвешенные вещества.

В четвертом разделе дан анализ эффективности существующих способов очистки сточных вод масложировых производств и повторного использования очищенных сточных вод. Сделан вывод о том, что к настоящему времени накоплен достаточно обширный материал по теории и практическому применению методов обработки сточных вод масложировых предприятий, однако, практически отсутствуют информационные системы в данной области знания с использованием современной вычислительной техники, которые могли бы стать базой для построения обобщенной модели ВХТС обработки сточных вод рассматриваемых производств.

Во второй главе рассмотрена методология анализа и синтеза ресурсосбегающих ВХТС водного хозяйства масложировых производств.

В первом разделе обоснованы принципы анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС водного хозяйства промышленных предприятий.

Второй раздел посвящен рассмотрению термодинамического эксергетического метода проектирования ресурсосберегающих ХТС водного хозяйства масложировых производств. Показано что, в настоящее время исследователи, работающие в области эксергетического анализа, учитывают, в основном, влияние изменения эксергии крупных потоков вещества и энергии в масштабе производства. Практически отсутствуют работы по учету влияния вклада изменения эксергии при смешении-разделении частных подпотоков производственных подразделений (цехов), производственных линий и единиц технологического оборудования. В ходе работы с целью оптимизации проектирования И-ВХТС нами развит термодинамический эксергетический метод анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий. В частности, предложена методика учета влияния вклада изменения эксергии при смешивании подпотоков производственных подразделений (цехов).

В третьем разделе рассмотрен термодинамический водный пинч-метод проектирования ресурсосберегающих ВХТС водопотребления и водоотведения масложировых производств. В последнее время пинч-анализ зарекомендовал себя наилучшим образом как инструмент синтеза энергоресурсосберегающих систем водопотребления и водоотведения и успешно применяется для проектирования систем водного хозяйства промышленных предприятий в Великобритании, России, Италии, ЮАР, Украине, Польше, Румынии. Однако, анализ вариантов практического использования данного перспективного метода свидетельствует о том, что организационные и технические вопросы методики его применения во многом не решены. Далека от оптимальной процедура поэтапного проектирования при использовании данного метода. С этой целью нами развит водный термодинамический пинч-метод анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий - предложена методика оптимизации поэтапного проектирования.

В третьей главе изложена процедура синтеза интегрированной ресурсосберегающей ВХТС (И-ВХТС) масложировых производств.

В первом разделе описаны основные этапы разработки структуры ресурсосберегающей И-ВХТС масложировых производств.

Величина потери эксергии,  $\Delta Ex$ , при изменении состава системы, в частности, при смешении водных потоков для идеальных растворов может быть рассчитана как:

$$\Delta Ex = \Delta H - RT_0 \sum_i^n n_i \ln \frac{1}{X_i} , \quad (1)$$

где:  $\Delta H$  - теплота смешения;  $n_i$  - молярный расход вещества, содержащегося в водном потоке, (моль/час);  $X_i$  - мольная доля ЗВ, содержащегося в водном потоке;  $T_0$  - абсолютная температура системы (индекс «0» означает состояние системы в условиях окружающей среды).

Так как потоки сточных вод чаще всего являются разбавленными растворами, а содержание ЗВ оценивается по брутто-показателю (например, такому, как ХПК) уравнение 1 можно записать в виде:

$$\Delta Ex = \frac{RT_0}{Mв} \sum_i^n \left[ m_i \ln \frac{m_i}{\sum_j m_j} \right] , \quad (2)$$

где:  $m$  - массовый расход вещества, содержащегося в водном потоке (кг/час);  $Mв$  - молекулярная масса вещества, содержащегося в водном потоке (кг); индекс  $i$  относится к данному виду компонента (ЗВ), а индекс  $j$  - к набору всех компонентов (ЗВ), содержащихся в водных потоках.

Эта аппроксимация возможна, так как для выбора последовательности процессов обработки водных потоков представляет интерес не истинное значение потери эксергии, а ее относительные величины,  $\% \Delta Ex$ , для рассматриваемых вариантов:

$$\% \Delta Ex = \frac{\Delta Ex}{Ex_{нач}} * 100\% , \quad (3)$$

где  $\Delta Ex$  - изменение потери эксергии в процессе смешения водных потоков, определяемое как:

$$\Delta Ex = Ex_{кон} - Ex_{нач} , \quad (4)$$

где:  $Ex_{нач}$  и  $Ex_{кон}$  - эксергия жидкофазной системы соответственно на входе в систему (до смешения) и на выходе из системы (после объединения индивидуальных потоков).

В качестве термодинамически обоснованных должны быть выбраны такие технологические схемы взаимодействия водных потоков, которым отвечают минимальные значения величины  $\% \Delta Ex$ . Практическое использование величины относительного изменения потери эксергии при смешении водных потоков фактически предполагает сравнение значения эксергии объединенного водного потока с суммой значений эксергий индивидуальных потоков до их смешения.

В табл. 1 приведены исходные данные для проектирования структуры целевой И-ВХТС масложирового производства на базе индивидуальных ВХТС (соответствующих отдельным производствам масложировых предприятий).

В ходе работы с целью совершенствования проектирования И-ВХТС нами развит термодинамический эксергетический метод анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий. В частности, предложена методика учета влияния вклада изменения эксергии при смешении подпотоков производственных подразделений (цехов). Таким образом, в нашем случае при проектировании во



внимание принимали не только данные для трех основных потоков (ВХТС-1, ВХТС-2, ВХТС-3), но и для подпотоков этих подразделений (в сумме для 10-ти подпотоков – см. табл. 1).

Таблица 1.

Исходные данные для проектирования структуры целевой И-ВХТС  
масложирового производства

№, п/п	Технологическая операция	$Q_{в. j.},$ м <sup>3</sup> /сут / м <sup>3</sup> /час	$C_{вх. j.},$ мг О <sub>2</sub> /л	$C_{вых. j.},$ мг О <sub>2</sub> /л	$m_j,$ кг/час
1	2	3	4	5	6
<b>ВХТС-1</b>	<b>Производство майонеза</b>				
1.	Мойка новой тары	65 / 4,643	5	180	0,813
2.	Мойка возвратной тары	75 / 5,357	100	1500	7,500
3.	Промывка оборудования	10 / 0,714	500	30000	21,063
	Всего:	<b>150 / 10,714</b>			<b>29,376</b>
<b>ВХТС-2</b>	<b>Экстракционный цех</b>				
1.	Охлаждение паров растворителя при отгонке из шрота	140 / 10,000	5	100	0,95
2.	Отгонка растворителя из шрота	42 / 3,000	150	600	1,35
3.	Шламовыпариватель	14 / 1,000	300	800	0,5
4.	Мойка оборудования	8 / 0,571	500	30000	16,845
	Всего:	<b>204 / 14,571</b>			<b>19,645</b>
<b>ВХТС-3</b>	<b>Цех рафинации</b>				
1.	Охлаждение, сушка масла (барометрические воды)	50 / 3,571	5	100	0,339
2.	Промывка масла после щелочной нейтрализации	15 / 1,071	50	3000	3,159
3.	Разложение соапстоков, мойка оборудования и помещений	20 / 1,429	3000	8000	7,145
	Всего:	<b>85 / 6,071</b>			<b>10,643</b>
	<b>Итого:</b>	<b>439 / 31,356</b>			<b>59,664</b>

Такая детализация имеет целью повышение надежности результатов проектирования и расширяет возможности при принятии решения о разделении – смешении водных технологических потоков производства в целом.

С целью разработки оптимального технико-эколого-экономического варианта проекта И-ВХТС масложирового производства нами проведен численный эксперимент, задачей которого явилась разработка многовариантного набора параметров рассматриваемой И-ВХТС. Расчет параметров И-ВХТС проводили с помощью пакета прикладных программ. Результаты расчета приведены в табл. 2 .

Таблица 2.

Расчет параметров структуры И-ВХТС по показателю ХПК

Производства	$m_{комп.}$ кг/час	$m_{воды}$ кг/час	$X_{комп.}$	$X_{воды}$	$\Delta E_x$ , кДж/час	$\% \Delta E_x$ %
1	2	3	4	5	8	9
произв-во майонеза (м)	29,376	10714	0,002734	0,997266	-27433,222	
экстракционный цех (э)	19,645	14571	0,001346	0,998654	-20231,115	
цех рафинации (р)	10,643	6071	0,001750	0,998250	-10582,608	
смешивание (э + р)	30,288	20642	0,001465	0,998535	-30844,984	0,1015
смешивание (м + р)	40,019	16785	0,002379	0,997621	-38128,296	0,2958
смешивание (м + э + р)	59,664	31356	0,001903	0,998097	-58662,484	0,7167
смешивание (м + э)	49,021	25285	0,001935	0,998065	-48075,671	0,8630

Анализ полученных данных позволяет предложить оптимальный вариант сети водных технологических потоков масложирового производства и разработать структуру его И-ВХТС, функциональная блок-схема которой приведена на рис. 1.

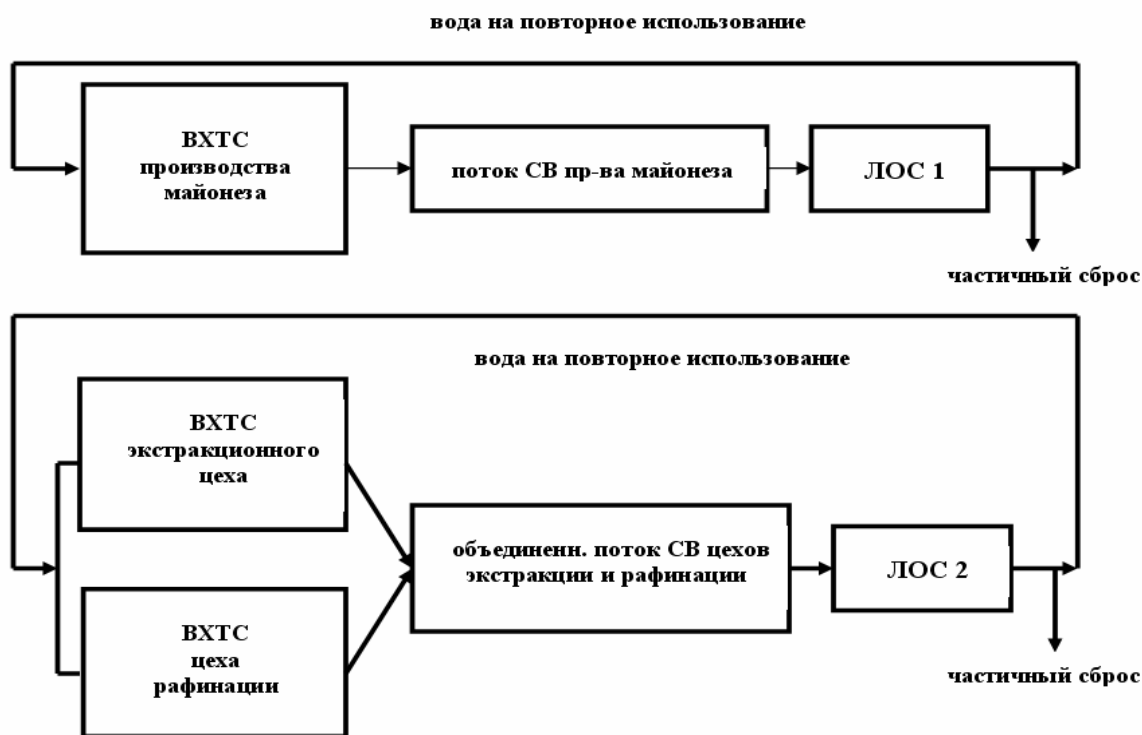


Рис. 1. Функциональная блок-схема интегрированной ресурсосберегающей химико-технологической системы водного хозяйства масложировых комбинатов.

В соответствии с этой схемой: поток отработанной технологической воды производства майонеза отдельно отводится и очищается на самостоятельных локальных очистных сооружениях (ЛОС-1). Сточные воды экстракционного цеха и цеха рафинации смешиваются и проходят последующую обработку на самостоятельных ЛОС-2. Как показывают результаты использования предложенной нами инновационной технологии очистки отработанной воды отдельных подразделений предприятий пищевой промышленности, основной объем очищенных сточных вод (до 90 %) направляется на повторное использование в основных технологических процессах масложирового комбината. Оставшаяся часть воды, обработанной на ЛОС-1 и ЛОС-2 (до 10 %), сбрасывается в систему

водоотведения населенного пункта с показателями, соответствующими нормам отведения для крупных промышленных центров.

Второй раздел посвящен проектированию энергоресурсосберегающей химико-технологической системы водопотребления и водоотведения экстракционного цеха производства растительных масел. В зависимости от сложности системы водного хозяйства производственного подразделения (количества индивидуальных ВХТС) при синтезе схемы повторно-последовательного водоснабжения обычно приходится рассматривать несколько десятков вариантов проекта. В связи с этим чрезвычайно актуальна задача оптимизации проектирования (поиска наилучшего варианта за минимальное время и повышения достоверности результатов проектирования). С этой целью нами развит водный термодинамический пинч-метод анализа и синтеза ресурсосберегающих ВХТС промышленных предприятий - предложена методика **оптимизации** поэтапного проектирования. А именно: предложено классифицировать этапы проектирования на блоки: 1) **всех возможных**, 2) **исходных**, 3) **формально лучших** и 4) **оптимального** вариантов. Данные этапы проектирования системно приближают процедуру синтеза ВХТС к принятию оптимального решения по ее составу.

На базе численного эксперимента с использованием пакета прикладных программ осуществлено многовариантное поэтапное проектирование ресурсосберегающей ВХТС экстракционного цеха производства растительных масел. Предложена оптимальная система повторно-последовательного водопотребления и водоотведения (см. рис. 2-а) со значением целевого объема потребления свежей воды в производстве, равным **7,797 м<sup>3</sup>/час**. При этом экономия объема потребляемой воды по сравнению с действующим в настоящее время (**14,571 м<sup>3</sup>/час**) составляет **46,5 %**.

В третьем разделе приведена аналогичная процедура проектирования ресурсосберегающей ВХТС цеха рафинации производства растительных масел. Оптимальный вариант проекта свидетельствует о целесообразности применения схемы повторно-последовательного водопотребления и водоотведения цеха рафинации производства растительных масел (см. рис. 2-б), в результате чего рекомендуется установление целевого объема потребления свежей воды в данном цехе **3,568 м<sup>3</sup>/час** с экономией объема потребляемой свежей воды по сравнению с принятым по действующей технологии (**6,071 м<sup>3</sup>/час**) на уровне **41,2 %**. Кроме того, как показано нами в ходе эколого-технологического анализа в цехе рафинации на 4-х ступенчатую промывку масла от образовавшегося в результате щелочной нейтрализации мыла расходуется существенный объем парового конденсата. По нашему мнению, целесообразно отработанный конденсат после четвертой промывки масла (наиболее чистый) направить в оборот и использовать для промывки следующей партии масла на первой ступени.

Четвертый раздел посвящен изложению процедуры проектирования ресурсосберегающей ВХТС производства майонеза. В результате многовариантного поэтапного проектирования удалось разработать оптимальный вариант проекта ресурсосберегающей ВХТС производства майонеза с использованием повторно-последовательной схемы водопотребления и водоотведения (см. рис. 2-в) и получить значение целевого объема водопотребления в ВХТС, равное **5,561 м<sup>3</sup>/час**. Экономия потребляемой воды по сравнению с действующим в настоящее время в производстве суммарным ее расходом (**10,714 м<sup>3</sup>/час**) составляет **48,1%**.

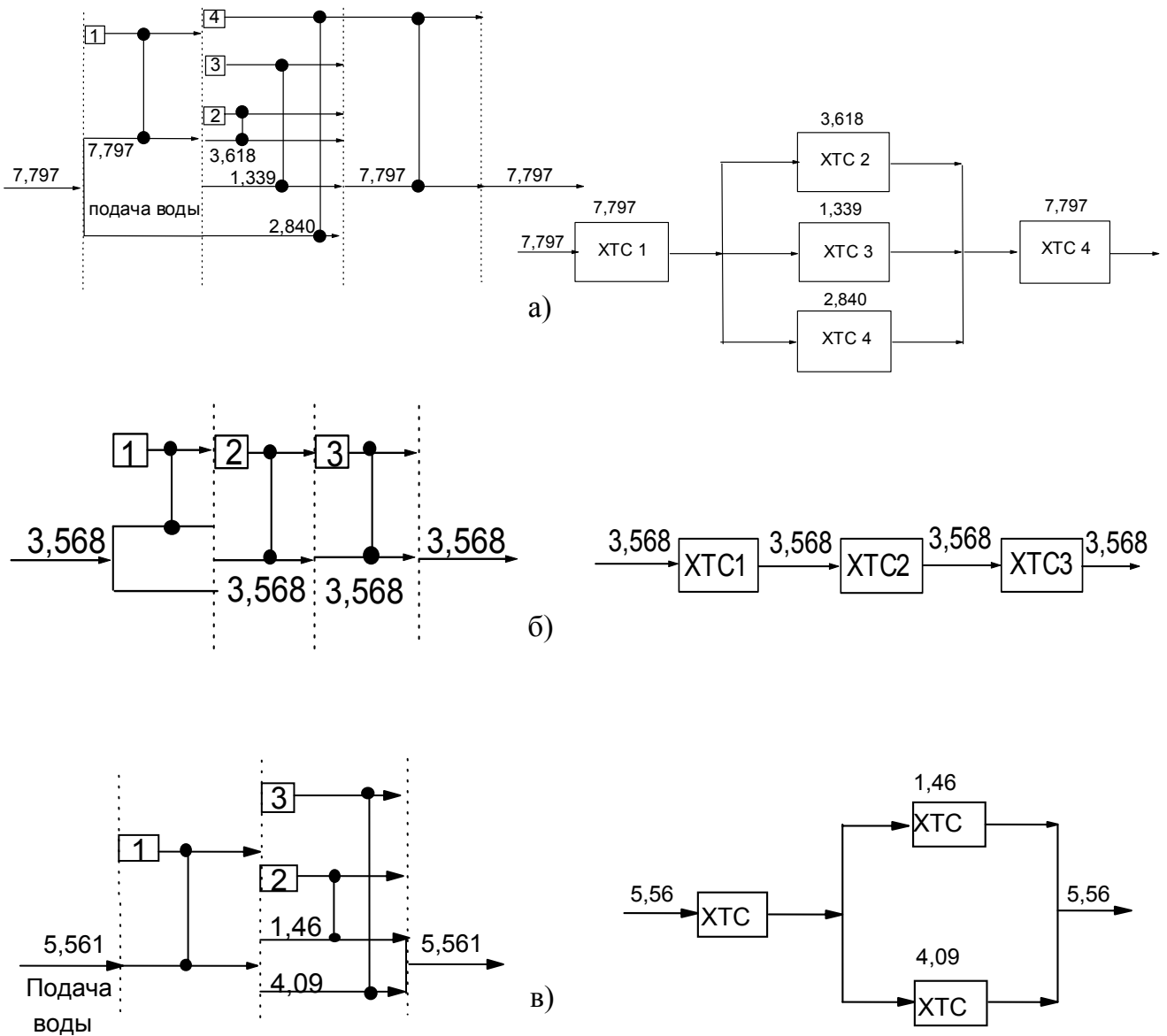


Рис. 2. Результаты проектирования энергоресурсосберегающих ВХТС производства растительных масел (решетчатые диаграммы и принципиальные технологические схемы оптимального варианта проекта): а) экстракционного цеха; б) цеха рафинации; в) производства майонеза; (цифры на потоках обозначают расход воды, м<sup>3</sup>/час).

В пятом разделе выполнено проектирование ВХТС локальной обработки сточных вод масложировых производств. Предложенная нами структура ВХТС локальной обработки сточных вод масложирового производства (см. рис. 3) позволяет снижать содержание критериальных ЗВ, содержащихся в этих стоках (жиры, ХПК, взвешенные вещества), с эффективностью 55 – 65 % на стадии предварительной механической очистки (жироловушки), 80 – 90 % на стадии обработки методом электрофлотации, 94 – 98 % на стадии тонкой доочистки (каркасно-засыпные фильтры).



Рис. 3. Функциональная блок-схема ВХТС локальной обработки сточных вод масложирового производства.

**Четвертая глава** работы посвящена анализу санитарной безопасности и эколого-экономической эффективности И-ВХТС масложировых производств.

В первом разделе проведена оценка санитарной безопасности И-ВХТС масложировых производств. В результате предложенной технологии обработки сточных вод майонеза и объединенного потока цехов экстракции и рафинации качество очищенной воды будет соответствовать качеству технической воды, используемой в производстве, а также качеству воды, частично отводимой в систему канализации населенного пункта.

Во втором разделе проведена оценка эколого-экономической эффективности И-ВХТС масложировых производств (см. табл. 3). Показано, что высокая эколого-экономическая эффективность разработанной ресурсосберегающей И-ВХТС достигается за счет значительного сокращения: 1) удельных норм расхода сырьевых и энергетических ресурсов, 2) объема потребления свежей воды, 3) объема отведения сточных вод, 4) массы загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоемы со сточными водами, 5) ущерба водным ресурсам от сбросов загрязняющих веществ.

Общий эколого-экономический эффект от внедрения И-ВХТС масложирового производства составит порядка 3,995 млн. руб/год.

Таблица 3.

Эколого-экономическая эффективность интегрированной энергоресурсосберегающей химико-технологической системы водного хозяйства масложировых производств

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Базовый вариант	Проектный вариант
1.	Потребление свежей воды	м <sup>3</sup> /год	129505	10136

2.	Отведение сточных вод	м <sup>3</sup> /год	123029	6640
3.	Плата за потребление свежей воды	тыс. руб/год	870,274	68,114
4.	Плата за сброс сточных вод в систему водоотведения	тыс. руб/год	617,606	33,333
5.	Экономия денежных средств за потребление свежей воды	тыс. руб/год	802,160	
6.	Экономия денежных средств за отведение сточных вод	тыс. руб/год	584,273	
7.	Экономия денежных средств за потребление конденсата	тыс. руб/год	702,1	
8.	Предотвращенный ущерб водным ресурсам	тыс. руб/год	1906,320	
<b>9.</b>	<b>Общий эколого-экономический эффект</b>	<b>тыс. руб/год</b>	<b>3994,853</b>	

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- 1) Проведен комплексный эколого-технологический анализ производственных процессов действующих масложировых комбинатов (производство растительного масла: цеха экстракции, рафинации и производство майонеза); осуществлен мониторинг их систем водопотребления и водоотведения; показано, что данные производства несут экологическую опасность, оказывая существенное отрицательное воздействие на состояние природных водных объектов.
- 2) Развита термодинамический эксергетический метод анализа и синтеза ресурсосберегающих систем водного хозяйства промышленных предприятий: предложена методика учета изменения величины эксергии в процессе смешения подпотоков производственных подразделений (цехов); развита термодинамический пинч-метод анализа и синтеза ресурсосберегающих систем водного хозяйства промышленных предприятий: предложена методика оптимизации поэтапного проектирования, классификация этапов проектирования.
- 3) Разработана ресурсосберегающая химико-технологическая система водного хозяйства масложировых производств на базе систем: разделения-смешения индивидуальных водных технологических потоков; повторно-последовательного использования технологической воды; высокоэффективной локальной обработки сточных вод; водооборотной системы технологической воды, позволяющей экономить порядка 90% объема потребляемой свежей воды.
- 4) Предложены способы энергоресурсосбережения при функционировании масложировых производств: снижение удельных норм водопотребления и водоотведения, повторное использование в основной технологии оборотной воды, парового конденсата, локально обработанной сточной воды.
- 5) Разработаны проектные решения по созданию химико-технологической системы локальной обработки сточных вод масложировых производств (включающей механическое жироулавливание, электрофлотационную обработку и доочистку на зернистых двухслойных фильтрах); рассчитаны технологические и конструкционные параметры основных узлов ее аппаратного оформления.

- 6) Проведена оценка эколого-экономической эффективности возможного внедрения предлагаемых инновационных технологических решений при организации ресурсосберегающей химико-технологической системы водного хозяйства масложирового производства, которая составила 3,995 млн. рублей в год.
- 7) Получены заключения о возможности внедрении результатов работы на ОАО «Шуйский масложирорафинерский завод» (г. Шуя, Ивановской обл.) и ООО «Владгазинвест» (п. Мелехово, Ковровский р-н, Владимирской обл.).

**Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:**

1. Невский, А.В. Технологические и термодинамические основы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем водопотребления и водоотведения промышленных предприятий /А.В. Невский, О.В. Кашина, В.А.Шарнин. //Научные исследования высшей школы по приоритетным направл. науки и техники. Тезисы докл. научно-технич. конф.- Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2004. - С. 78.
2. Кашина, О.В. Принципы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем водного хозяйства пищевых предприятий /О.В. Кашина, А.В. Невский, В.А.Шарнин //Вузовская наука - региону. Сб. материалов II Всероссийской научно-техн. конф. - Вологда, ВоГТУ. – 2004. - С. 551 – 553.
3. Невский, А.В. Научные основы и новые принципы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем водопотребления промышленных предприятий. /А.В. Невский, О.В. Кашина, В.А. Шарнин //Химические технологии. Тезисы докл. отчетной научной конф.- Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. - С. 32-33.
4. Кашина, О.В. Ресурсосберегающая система водопотребления производства майонеза в составе масложирового комбината. /О.В. Кашина, А.В.Невский, В.А. Шарнин // Проблемы экологии на пути к устойчивому развитию регионов. Сб. материалов II Международной научно-технич. конф. - Вологда, ВоГТУ, 2005. - С. 64 – 67.
5. Невский, А.В. Развитие эксергетического метода синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем водного хозяйства промышленных предприятий. / А.В.Невский, В.А. Шарнин, О.В. Кашина, М.В. Бушуев // Проблемы экологии на пути к устойчивому развитию регионов. Сб. материалов II Международной научно-технич. конф. - Вологда, ВоГТУ, 2005. - С. 92 – 95.
6. Кашина, О.В. Термодинамический пинч-метод проектирования ресурсосберегающих систем водопотребления и водоотведения пищевых производств /О.В. Кашина, А.В. Невский, В.А. Шарнин //Экологические проблемы Ивановской области. Сб. материалов межвузовской научно-практической конференции. – Иваново, 2005.- С. 39-41.
7. Невский, А.В. Технология проектирования высокоэффективных ресурсосберегающих систем водопотребления промышленных предприятий /А.В. Невский, В.А. Шарнин, О.В. Кашина //Современные наукоемкие технологии, 2005. - № 1-2. - С. 107 – 115.
8. Бушуев, М.В. Разработка информационной системы эксергетического анализа при проектировании ресурсосберегающих технологических процессов /М.В. Бушуев, О.В. Кашина, А.В. Невский, В.А. Шарнин. //Современные наукоемкие технологии. – 2005. - № 3. - С. 69 – 76.
9. Невский, А.В. Научные основы и новые принципы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем водопотребления промышленных предприятий

- /А.В. Невский, В.А. Шарнин, Н.В. Тукумова, О.В. Кашина, А.С. Оловянников. – М., 2005. – 34 с. – Деп. ВНИИЦ г. Москва № гос.регистр. 01200306877; инвентаризац. № 02200505436.
10. Невский, А.В. Санитарно-токсический мониторинг Увдовского водохранилища Ивановской области /А.В. Невский, В.А. Шарнин, Г.Ф. Лутай, С.В. Золотухина, О.В. Кашина – М., 2005. – 35 с. – Деп. ВНИИЦ г. Москва № гос.регистр. 01200510913; инвентаризац. № 02200506018.
  11. Кашина, О.В. Экологические технологии: проектирование водосберегающей химико-технологической системы для масложирового производства. /О.В. Кашина, А.В.Невский, В.А.Шарнин // Инженерная экология. – 2007. - № 1. - С. 48 – 54.
  12. Невский, А.В. Информационная система пинч-анализа для проектирования водных ресурсосберегающих технологических процессов. /А.В. Невский, В.П. Мешалкин, В.А. Шарнин, М.В. Бушуев, О.В. Кашина // «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (МНПК «ЛЭРЭП-2-2007»). Сб. научных трудов по материалам Междунар. научн.-практической конференции. – Саратов, 2007. - т. 2. - С. 76 – 79.
  13. Nevsky, A.V. Optimization of designing and operation of water energy-resourcesaving chemical processes. /A.V. Nevsky, V.A.Sharnin, O.V. Kashina, M.V. Bushuev, O.A. Usanova //Proceed. of the 5-th China-Russia-Korea Int. Symp. on Chem. Engineering and New Material Science. - Ivanovo, Russia. ISUCT, 2007. - P. 74 – 77.
  14. Невский, А.В. Методология проектирования ресурсосберегающих химико-технологических систем и оценка риска их функционирования /А.В. Невский, В.А. Шарнин, В.С. Ватагин, О.В. Кашина, М.В. Бушуев //XVIII Менделеевский съезд по общей и прикл. химии. Тезисы докл. - Москва, 2007. - т. 3. - С. 21.
  15. Кашина, О.В. Ресурсосберегающая химико-технологическая система водного хозяйства экстракционного цеха масложирового комбината. /О.В. Кашина, М.В. Бушуев, А.В.Невский, В.А.Шарнин. // Известия вузов. Химия и хим. технол. – 2008. – т. 51, вып. 1. – С. 98 – 101.
  16. Кашина, О.В. Проектирование водной ресурсосберегающей химико-технологической системы цеха рафинации масложирового производства. / О.В. Кашина, М.В. Бушуев, А.В.Невский, В.А.Шарнин. //Экология и промышленность России. – 2008. - № 5. – С. 15 – 17.

Ответственная за выпуск:

О.В. Кашина