

**УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РАН**

УДК 662.76.032  
№ госрегистрации 0120.0 852004  
Инв. № 257к

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора ОИВТ РАН

В.А. Зейгарник  
2010 г.




**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ  
о выполнении опытно-конструкторской работы**

**по теме: «Разработка и создание экологически чистых когенерационных  
энергоустановок для производства водорода и энергообеспечения  
автономных потребителей»**

по государственному контракту  
от «14» августа 2008 г. № 02.526.12.6010,  
Шифр «2008-6-2.6-10-01-002»

**Этап 6: «Приемочные испытания опытного образца ЭТК»  
(заключительный)**

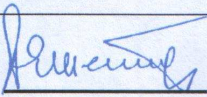
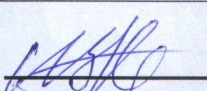
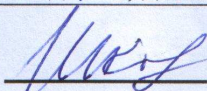
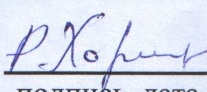
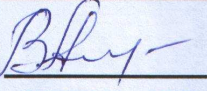
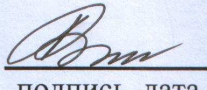
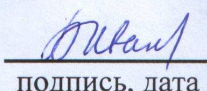
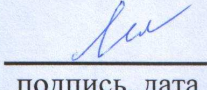

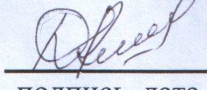
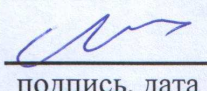
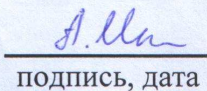
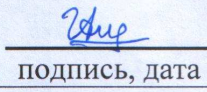
Руководитель работы,  
Заместитель директора ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.

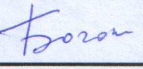
  
подпись, дата

А.З. Жук

Москва, 2010

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, акад.	 подпись, дата	А.Е. Шейндлин (введение, заключение)
Руководитель работ, зам. директора, д.ф-м.н.	 подпись, дата	А.З. Жук (введение, заключение)
Ответственный исполнитель, зав. лаб.	 подпись, дата	Е.И. Школьников (разделы 1, 3)
Зам. директора	 подпись, дата	Р.А. Хорошавцев (раздел 3)
Зав. лаб.	 подпись, дата	В.Б. Алексеев (раздел 3)
Зав. лаб.	 подпись, дата	В.Д. Каганов (раздел 1)
Зав. лаб.	 подпись, дата	П.П. Иванов (раздел 4)
Научный сотрудник	 подпись, дата	А.В. Лисицын (раздел 1)
Научный сотрудник	 подпись, дата	Н.Г. Алексеева (раздел 3)
Вед. инженер	 подпись, дата	В.П. Дубенков (раздел 3)
Ст.н.с.	 подпись, дата	А.В. Целуйко (раздел 1)
М.н.с.	 подпись, дата	А.В. Илюхина (раздел 2)
М.н.с.	 подпись, дата	А.С. Илюхин (раздел 1)

М.н.с.	 _____	М.С. Власкин (раздел 1)
Научный сотрудник	 _____	Е.В. Сидорова (раздел 2)
М.н.с.	 _____	А.Б. Тарасенко (раздел 4)
М.н.с.	 _____	Н.С. Шайтура (раздел 4)
М.н.с.	 _____	А.В. Григоренко (раздел 4)
Вед. инженер	 _____	М.Ю. Лопатин (раздел 2)
Вед. инженер	 _____	Ю.М. Богомолов (раздел 3)
Инженер	 _____	А.В. Берш (раздел 1)
Вед. конструктор	 _____	А.Б. Покровский (разделы 1, 3)
Инженер	 _____	А.А. Васин (раздел 4)
И.о.м.н.с.	 _____	И.В. Янилкин (раздел 3)
Инженер	 _____	И.В. Перепелкин (раздел 1)
Инженер	 _____	В.Н. Карпухина (раздел 2)
Инженер	 _____	А.И. Сороковиков (раздел 1)

И.о.м.н.с.	 подпись, дата	Д.Е. Виткина (раздел 1)
Техник	 подпись, дата	В.Н. Колокольников (раздел 3)
И.о.м.н.с.	 подпись, дата	Е.А. Киселева (раздел 2)
Лаборант	 подпись, дата	Е.А. Бурлаков (раздел 2)
Лаборант	 подпись, дата	А.М. Карлов (раздел 4)
Соисполнители темы		
ГНУ ГОСНИТИ Зав.лаб.	 подпись, дата	Ю.А. Мазалов (раздел 2)
Филиал ОАО «Южный ИЦЭ» «Ростовтеплоэлектро- проект» Гл. инженер Проекта	 подпись, дата	А.А. Чернявский (раздел 3)

## РЕФЕРАТ

Отчет 65 стр., 15 рис., 8 табл.

АЛЮМИНИЙ, ВОДА, ВОДЯНОЙ ПАР, ВОДОРОД, БЕМИТ,  
ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ, ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
КОМПЛЕКС

**Объектом исследования** является опытно-промышленный образец энерготехнологического комплекса для производства водорода, тепловой и электрической энергии, а также твердого би-продукта (бемит), выделяющихся в результате взаимодействия высокодисперсного алюминия с водой в гидротермальных условиях.

**Целью работы** на шестом этапе являлось проведение приемочных испытаний опытного образца энерготехнологического комплекса (ЭТК).

В ходе выполнения шестого этапа были выполнены следующие работы:

- Проведены государственные приемочные испытаний ЭТК.
- Проведен дополнительный патентный поиск и составлен итоговый отчет о патентных исследованиях.
- Проведены мероприятия по организации опытно-промышленного производства автономных ЭТК.
- Разработан бизнес-план производства ЭТК.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1. Проведение государственных приемочных испытаний ЭТК	13
1.1. Общие положения	13
1.2. Условия проведения испытаний	14
1.3. Требования безопасности	16
1.4. Программа испытаний	17
1.5. Проведение государственных приемочных испытаний ЭТК-100	18
1.6. Результаты проведения государственных приемочных испытаний	27
2. Проведение патентного поиска	43
2.1. Общие данные об объекте исследования	43
2.2. Обоснование регламента поиска	43
2.3. Выявление ведущих фирм-разработчиков	45
2.4. Выводы	46
3. Проведение мероприятий по организации опытно-промышленного производства автономных ЭТК	48
3.1. Конструктивная подготовка производства (КПП)	49
3.2. Технологическая подготовка производства (ТПП)	50
3.3. Организационная подготовка производства (ОПП)	51
3.4. Мероприятия по подготовке опытно-промышленного производства	56
4. Разработка бизнес-плана производства ЭТК	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ОИВТ РАН	Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН
ГНУ ГОСНИТИ	Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка»
РОСТЭП	ОАО «Южный инженерный центр энергетики» «Ростовтеплоэлектропроект»
КЭУ	Когенерационная энергоустановка
ЭТК	Энерготехнологический комплекс
ЦРВ	Цех разделение воздуха (территория ОИВТ РАН)
ТЗ	Техническое задание
ТД	Техническая документация
РКД	Рабочая конструкторская документация
ПКД	Проектно-конструкторская документация
АСУТП	Автоматизированная система управления технологическими процессами
АСКУ	Автоматизированная система контроля и управления
АСД	Алюминий сферический дисперсный
ПАД	Пудра алюминиевая дисперсная
ПГС	Парогазовая смесь
ГТО	Гидротермальное окисление
ЭАВ	Энергоаккумулирующее вещество
КПД	Коэффициент полезного действия
ТЭ	Топливный элемент
ДВС	Двигатель внутреннего сгорания
ГТУ	Газо-турбинная установка
КИП	Контрольно-измерительный прибор
ЭХГ	Электрохимический генератор
КД	Конструкторская документация
ЭД	Эксплуатационная документация
Р1, Р2	Реакторы

Е1	Смеситель компонентов
ПО	Программное обеспечение
НВД	Насос высокого давления
НВБ	Насос выдачи бемита
НДВ	Насос дозирования воды
ВПУ	Водоподготовительная установка
К1	Конденсатор
ЦВ	Циклон
ВО	Водоотделитель
ДО	Доохладитель
Е2	Ёмкость сбора бемита
ВК1, ВК2	Воздушные компрессоры
ЩД	Шнековый дозатор
ВР	Водородная рампа
ТЭН1, ТЭН2	Электронагреватели реакторов Р1, Р2
БРК	Ёмкость для катализатора
БОВ	Бак для очищенной воды
ДГ	Дегазатор
ТО	Теплообменник возвратной воды
ПЭВМ	Персональная электронно-вычислительная машина
ЗИП	Запасные изделия и принадлежности
АСУ ТП	Автоматизированная система управления технологическими процессами
К1...К61	Клапаны ручные (краны)
БА1, БА2	Баллоны азотные стандартные 40л
БВ1...БВ5	Баллоны водородные стандартные
БСВ1, БСВ2	Баллоны воздушные
РД1... РД13	Регуляторы давления
РУ1...РУ4	Регуляторы уровня
ПК1 ... ПК14	Пневматические клапаны
ЭМК1...ЭМК4	Электромагнитные клапаны



## ВВЕДЕНИЕ

Тенденция переориентации мировой энергетики на ядерные и возобновляемые источники энергии делает актуальными проблемы поиска универсальных, экологически безопасных энергоносителей между вышеуказанными производителями и конечными потребителями энергии, а также разработки эффективных схем преобразования в полезные виды энергии тепла, запасаемого этими энергоносителями. В качестве универсального энергоносителя широко обсуждается перспектива использования водорода, который может быть произведен путем переработки органических природных топлив или же электролизом воды за счет излишков электроэнергии, возникающих в рамках суточного графика потребления. На перспективы широкого использования водорода было обращено большое внимание во многом благодаря его высочайшему энергетическому потенциалу и тому, что он может быть весьма эффективно использован в топливных элементах – устройствах для производства электроэнергии в ходе электрохимических процессов. Однако воплощению в реальность этих идей мешают два известных недостатка, присущих водороду: это чрезвычайно малая плотность и взрывоопасность. Именно это обстоятельство заставляет обратить внимание на тот факт, что в относительной близости по энергетическому потенциалу к водороду, находится другой химический элемент, широко распространенный в природе, производство которого весьма масштабно в мире и в нашей стране – это алюминий.

По распространенности в земной коре алюминий занимает первое место среди металлов и третье место (после кислорода и кремния) среди химических элементов. Основным сырьем для производства алюминия являются бокситы, только разведанные запасы которых на 2002 г оценивались в 34.5 млрд. т., что в пересчете на алюминий составляет 8.6 млрд. т. (из 4 кг бокситов получают 2 кг глинозема, из которых затем получают 1 кг алюминия). В настоящее время годовой выпуск первичного алюминия в мире составляет около 40 млн.т., из которых более 12%

приходится на долю российских компаний. При этом, как и в случае водорода, основные затраты при производстве алюминия связаны с расходом электроэнергии (в случае с алюминием на стоимость электроэнергии приходится 75–85 % общих затрат).

В нормальных условиях алюминий инертен, так как при взаимодействии с кислородом воздуха покрывается тонкой оксидной пленкой. В связи с этим, при использовании алюминия для последующего получения водорода, легко решаются проблемы хранения, и транспортировки как бы уплотненного таким образом водорода. Таким образом, между концепцией водородной энергетики и предлагаемым здесь подходом, который мы называем «алюмоводородной энергетикой» существует прямая аналогия. Для получения промежуточного энергоносителя – водорода, применяется способ окисления алюминия в воде или водяном паре. При этом продукты такого химического окисления алюминия (гидроксиды или оксиды алюминия) легко включаются в цикл Байера, широко используемого в промышленности при производстве этого металла. В этой связи, существенным достоинством алюминия, как энергоносителя является то, что при условии возвращения продуктов окисления алюминия в цикл его производства, нет необходимости в значительном расширении добычи бокситов и других алюминий-содержащих ископаемых, по крайней мере, в условиях стабильного уровня потребления металла в качестве энергоносителя.

В связи со всем вышесказанным можно резюмировать, что алюминий потенциально может иметь довольно высокую степень интеграции в мировое энергетическое хозяйство, а необходимыми условиями этого являются научно-исследовательские и опытно-конструкторские проработки в области создания энергоустановок, преобразующих химическую энергию алюминия в электроэнергию и полезное тепло. В настоящее время рассматриваются следующие направления применения энергетических установок, использующих реакцию окисления алюминия водой: источники питания

портативной электроники, автономные энергетические установки малой и средней мощности для районов, в которые доставка топлива затруднена, транспортируемые энергоустановки и резервные установки для энергетических систем и подсистем, в том числе для покрытия пиковых нагрузок регионов и мегаполисов.

Реализация предлагаемых в настоящей работе новых технических решений с созданием энерготехнологического комплекса достаточно высокой мощности позволит продемонстрировать эффективность алюмоводородных технологий и открыть широкую дорогу для их внедрения в практику.

Предлагаемые в ходе выполнения контракта решения позволяют реализовать уникальную возможность получения в одном реакторе в результате гидротермального окисления алюминия водой не только водорода и водяного пара, но и товарного продукта – бемита. В сочетании с водородно-воздушными электрохимическими генераторами и гибридными энергоустановками, использующими водород и водяной пар, комплексная система энергообеспечения позволит наиболее эффективно решить проблемы автономной энергетики.

Проведенные на первых четырех этапах исследования характеристик процесса реакции окисления порошков алюминия АСД-4 и АСД-6 с водой в замкнутом объеме в интервале температур  $T = 300 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлений  $P = 10 \div 18 \text{ МПа}$  показали принципиальную возможность достижения высокой эффективности данного способа гидротермального окисления алюминия для получения водорода. Достигнутые скорости и полнота окисления алюминия позволяют на основе данного способа разработать промышленную технологию получения водорода, тепловой энергии и твердого би-продукта в экологически чистых когенерационных энергоустановках.

На пятом этапе были проведены монтаж и пуско-наладочные работы опытного образца энерготехнологического комплекса ЭТК-100. Разработаны программы и методики предварительных и приемочных испытаний.

Проведены предварительные испытания и доработка ЭТК-100. Проведены технико-экономические и маркетинговые исследования.

Целью шестого (заключительного) этапа работы было проведение государственных приемочных испытаний опытного образца энерготехнологического комплекса. На шестом этапе были выполнены следующие работы:

- проведение государственных приемочных испытаний ЭТК;
- проведение дополнительного патентного поиска и составление итогового отчета о патентных исследованиях;
- проведение мероприятий по организации опытно-промышленного производства автономных ЭТК;
- разработка бизнес-плана производства ЭТК.

# **1. Проведение государственных приемочных испытаний ЭТК**

## **1.1. Общие положения**

Целью приемочных испытаний опытного образца энерготехнологического комплекса ЭТК-100 (ШФ 00.00.000) являлось:

- экспериментальное подтверждение правильности проектных, технологических и конструкторских решений, принятых при разработке объекта испытаний в соответствии с ТЗ (Приложение № 1 к государственному контракту от «14» августа 2008 г. № 02.526.12.6010;
- подтверждение соответствия характеристик объекта требованиям, заданным ТЗ, в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации, а также для оценки возможности промышленного производства и реализации продукции.

Приемочные испытания проводились в соответствии с программой и методикой государственных приемочных испытаний (Приложение В к отчету 5 этапа работ по государственному контракту от «14» августа 2008 г. № 02.526.12.6010).

Испытания энерготехнологического комплекса ЭТК-100 проводились в следующей комплектности энерготехнологического комплекса ЭТК-100:

- система заправки твердыми исходными реагентами и удаления би-продуктов реакции получения водорода;
- система непрерывного приготовления и подачи суспензии с использованием устройств автоматического дозирования и подачи реагентов в зону реакции;
- система конденсации пароводородной смеси;
- комплексная система преобразования тепловой энергии пароводородного рабочего тела с большим содержанием механической примеси (гидроксида алюминия) в электроэнергию и другие виды полезной энергии, не нарушающая оптимальные параметры реакции;

- система кондиционирования водорода, а также твердых би-продуктов применительно к техническим условиям потребителя для их реализации с целью повышения экономической эффективности разрабатываемых ЭТК;
- система контроля и управления работой ЭТК средствами компьютерного обеспечения в автоматическом режиме в отсутствие обслуживающего персонала;

Объект испытаний предъявлялся на испытания в сопровождении следующих документов:

- ТЗ на выполнение опытно-конструкторской работы по теме «Разработка и создание экологически чистых когенерационных энергоустановок для производства водорода и энергообеспечения автономных потребителей» шифр «2008-6-2.6-10-01 (Приложение № 1 к государственному контракту от «14» августа 2008 г. № 02.526.12.6010);
- принципиальная технологическая схема 1118.02.01.ТХ;
- принципиальная электрическая силовая схема 1118.03.01.ЭЛ;
- пояснительная записка 1118.01.01.ПЗ;
- комплект проектной документации 1118.01.01-1118.08.01;
- комплект конструкторской документации;
- комплект эксплуатационной документации;
- технические паспорта агрегатов и узлов систем объекта испытаний;
- программа-методика испытаний (ПМ);
- нормативная документация, указанная в ПМ.

На стадии подготовки к приемочным испытаниям ЭТК-100 ОИВТ РАН взаимодействовал с представителями государственного заказчика, а также следующими организациями:

- ОАО «Ростовтеплопроект» (разработчик проектной документации);
- ГНУ ГОСНИТИ (испытания блоков генерации водорода);
- ОАО «ИНЭУМ» (разработчик технических средств и программного обеспечения АСКУ- ЭТК-100);

Дополнительно для наладки поставленных агрегатов этапом ранее, на

стадии предварительных испытаний, привлекались представители следующих компаний:

- ООО «ФУДТЕХ» (наладка загрузчика алюминия);
- «ENVERON» (наладка насоса выдачи бемита НВБ и насоса дозирования воды НДВ).

## **1.2. Условия проведения испытаний**

Испытания проводились на технологической площадке в строении 3 экспериментального комплекса ОИВТ РАН. Контроль рабочих параметров систем и узлов ЭТК-100 производился средствами, входящими в состав комплекса (перечень 1118.04.01ТХА).

Средства измерений прошли поверку в соответствии с требованиями ПР 50.2.006-94.

Испытательное оборудование аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

Испытания проводились в нормальных климатических условиях:

- температура окружающего воздуха, 16°C;
- относительная влажность воздуха, 55%;
- атмосферное давление, 730 мм рт. ст.

К проведению испытаний был допущен персонал, прошедший обучение и аттестацию, подготовленный в соответствии с:

- «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей»;
- «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Госэнергонадзором, и имеющий степень аттестации по электробезопасности не ниже III-ей группы;
- «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» ПБ 03-576-03;
- «Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» ПБ 10-573-03;
- «Правилами безопасности при производстве водорода методом электролиза воды»;
- изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний;

- допущенный к работе распоряжением по отделу.

Квалификация ответственного за эксплуатацию опытной установки инженер-технолог.

Порядок обучения и аттестации персонала, участвовавшего в испытаниях, соответствовал «Положению об организации работы по подготовке и аттестации специалистов организаций, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору» (Приказа Ростехнадзора от 05.07.2007 N 450).

### **1.3. Требования безопасности**

Наиболее опасными технологическими аппаратами с точки зрения вероятности образования взрывоопасных смесей при возможных их разгерметизациях являлись (см. том 2, черт.1118.02.01.ТХ, лист 2):

- технологические реакторы Р1 и Р2, в которых реакция окисления алюминия ведется при температурах 320...350 °С и давлениях 15...20 МПа;
- конденсатор К1, в котором процесс конденсации осуществляется при давлениях до 20 МПа в диапазоне температур «вход / выход» 320...350 / 30...50 °С;
- блок «циклон – водоотделитель» ЦВ-ВО, работающий под давлением 12...15 МПа (температуры низкие – 30...50 °С);
- доохладитель ДО, также работающий под давлением 12...15 МПа (температуры низкие – 25...30 °С);
- шнековый дозатор ШД, в бункере которого содержится до 70 кг мелкодисперсного алюминиевого порошка;
- наружная установка с водородом – водородная рампа ВР, содержащая 5 водородных баллонов емкостью по 40 л с давлением до 10 МПа.

При проведении испытаний управление объектом испытаний производилось дистанционно.

При подготовке энерготехнологического комплекса ЭТК-100 к испытаниям, проведении испытаний и выполнении работ по завершению испытаний соблюдались требования безопасности, соответствующие



требованиям следующих действующих нормативных и руководящих документов:

- СНиП 2.01.02-85\* «Противопожарные нормы»;
- ППБ 01-03 «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации»;
- ПБ 03-517-02 «Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
- ПБ 09-540-03 «Общие правила для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»;
- ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением»;
- ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»;
- ПБ 03-581-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов»;
- ПБ-03-598-03 «Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза» (в части дополнительно учитываемых рекомендаций по обращению с водородом);
- ПУЭ «Правила устройства электроустановок»;
- ГОСТ 12.01.018-93 «Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования»;
- ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов».

#### **1.4. Программа испытаний**

Испытания проводились в соответствии с планом-графиком, утвержденным председателем приемочной комиссии.

Приемочные испытания установки ЭТК-100 проводились в следующей последовательности:

- проверка соответствия пунктов 4.1-4.3, 4.4.4-4.4.11 «Программы приемочных испытаний» требованиям ТЗ;
- предпусковые операции;

- приготовление первой порции суспензии алюминия и воды в смесителе;
- нагрев реакторного блока;
- запуск реакторного блока;
- нормальная/аварийная остановка;
- операции по приведению установки в исходное состояние;
- обработка результатов, проверка соответствия пунктов 4.4.1-4.4.3 «Программы приемочных испытаний» требованиям ТЗ.

## **1.5. Проведение государственных приемочных испытаний ЭТК-100**

### **1.5.1 Проверка соответствия пунктов 4.1-4.3, 4.4.4-4.4.11**

#### **«Программы приемочных испытаний» требованиям ТЗ**

Результаты проверки:

№ п/п	Требования ТЗ		Полученные результаты	Документ, подтверждающий результат	Соответствие результатов требованиям ТЗ
	№ пункта	Установленные требования			
1.	4.1.1; 4.1.2	Проверка комплектности объекта испытаний, его соответствия спецификациям, сборочным чертежам и общим схемам	Комплектность соблюдена	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
2.	4.1.1; 4.1.2	Проверка на соответствие комплектности и оценка качества КД: - чертежи отдельных узлов и агрегатов систем и узлов; - чертежи общего вида; - принципиальная технологическая схема; - принципиальная электрическая силовая схема; - пояснительная записка	Комплектность соблюдена	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>

№ п/п	Требования ТЗ		Полученные результаты	Документ, подтверждающий результат	Соответствие результатов требованиям ТЗ
	№ пункта	Установленные требования			
3.	4.1.2	Проверка комплектности и качества ЭД: - технические паспорта на агрегаты; - инструкции по монтажу и эксплуатации агрегатов	Комплектность соблюдена	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.		Проверка показателей назначения			
4.4	4.1.5	Проверка выполнения требований к электропитанию (в соответствии с ГОСТ 13109-97)	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.5	4.1.6	Проверка выполнения конструктивных требований	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.6	4.1.7.	Проверка выполнения требований по эргономике и технической эстетике продукции	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.7	4.1.10.	Проверка выполнения требований по надежности продукции	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.8	4.2.1.	Проверка выполнения требований по метрологическому обеспечению	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.9	4.2.2.	Проверка выполнения требований по программному обеспечению	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>

№ п/п	Требования ТЗ		Полученные результаты	Документ, подтверждающий результат	Соответствие результатов требованиям ТЗ
	№ пункта	Установленные требования			
4.10	4.3.	Проверка выполнения требований к разрабатываемой документации	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>
4.11	4.4.	Проверка выполнения требований безопасности	Требования выполнены	Протокол приемочных испытаний опытного образца ЭТК	<i>Соответствует</i>

### ***1.5.2 Предпусковые операции***

В процессе подготовки систем и узлов ЭТК-100 к испытаниям непосредственно перед испытанием или накануне выполняются следующие предпусковые (подготовительные) операции:

- включение АСКУ и регистрация исходных значений параметров систем и узлов;
- открытие ручных клапанов на входах и выходах технологического оборудования: К1, К3...К5, К7, К8, К10...К37, К41...К53, К61, а также либо клапанов К54, К55, либо клапанов К56, К57 – в зависимости от планируемого направления подачи водорода (на ЭХГ НуРМ HD16, котел или ГТУ-1500); при работе на продувочную свечу должен быть открыт пневмоклапан ПК12;
- проверка закрытого состояния ручных клапанов К2, К6, К9, К38...К40, К58...К60;
- установка баллонов азота БА1 и БА2, открытие их индивидуальных вентилях, проверка наличия необходимого давления азота по местным манометрам и закрытие индивидуальных вентилях на этих баллонах;
- установка и подключение в схему баллонов водородной рампы БВ1...БВ5, и баллонов сжатого воздуха БСВ1 и БСВ2;

- продувка азотом трубопроводов и оборудования с обращением водорода: реакторов Р1 и Р2, теплообменника ТО, водоотделителя ВО, циклона ЦВ, баллонов водорода БА1...БА5;
- включение ВПУ, вывод ее на рабочий режим и наполнение бака БОВ до верхнего значения рабочего уровня;
- включение компрессора ВК, вывод его на рабочий режим и наполнение баллонов БСВ1 и БСВ2 сжатым воздухом до верхнего значения рабочего давления.

### ***1.5.3 Приготовление первой порции суспензии алюминия и воды в смесителе***

Источниками воды для приготовления водной суспензии порошка алюминия, накапливаемой в емкости БОВ, являются деионизованная вода, получаемая в водоподготовительном устройстве ВПУ и возвратный конденсат со стадии получения водорода и бемита (Рис. 1.1). Поскольку количество возвратного конденсата недостаточно для приготовления исходной суспензии, необходимый уровень воды в емкости БОВ в процессе подготовки и работы установки поддерживается за счет периодического пополнения деионизованной водой из ВПУ.



*Рис. 1.1. Узел водоподготовки.*

Емкость БОВ оборудована датчиком уровня LE146a, управляющим процессом ее заполнения. На магистралях деионизованной воды в БОВ установлен расходомер FE127a; подачи воды в смеситель E1 расходомер FE128a, рН метр QE177a, кондуктометр EE175a.

Подача воды из емкости БОВ для приготовления водной суспензии алюминиевого порошка в смеситель E1 и промывки аппаратов установки осуществляется перистальтическим насосом НДВ.

С помощью АСКУ перед испытанием ЭТК-100 в БОВ заливается 500 л дистиллированной воды. Программируемые в АСКУ уставки для включения и выключения ВПУ устанавливаются соответственно на 200 и 500 л. Насос SPX-25 настраивается на расход  $0,35 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Далее вода из БОВ подается в смеситель E1 с помощью насоса НДВ в соответствии с его расходной характеристикой Рис.1.2, а алюминий подается в E1 с помощью дозатора порошка в соответствии с его расходной характеристикой Рис.1.3. При этом время дозирования НДВ и дозатора порошка рассчитывается таким образом, чтобы в смесителе соотношение по массе вода/алюминий находилось в интервале  $7 \div 8$ .

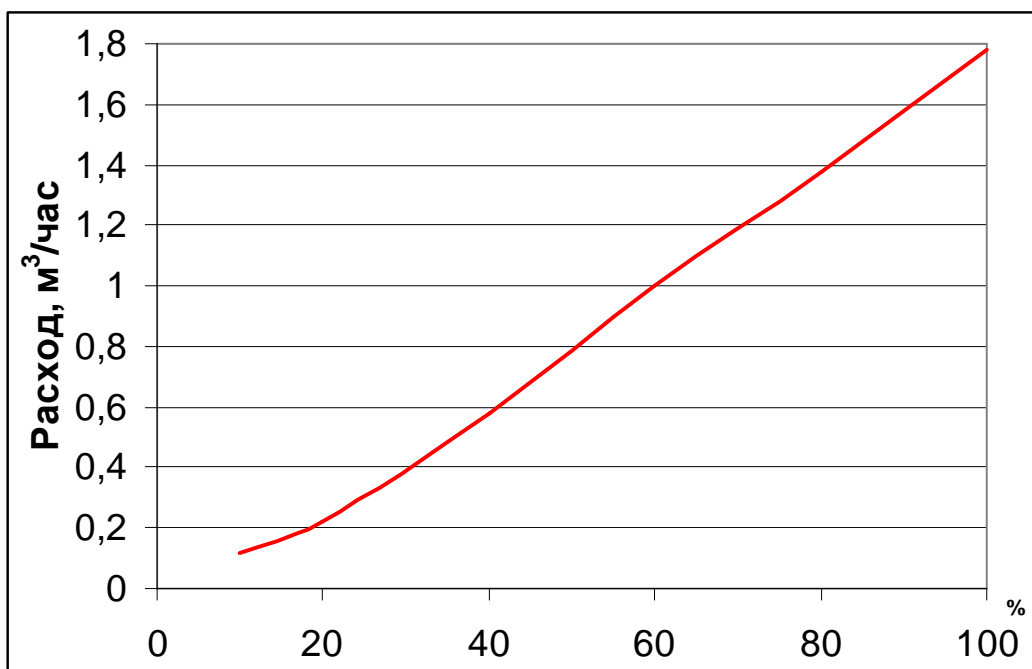


Рис. 1.2. Расходная характеристика НДВ SPX-25.

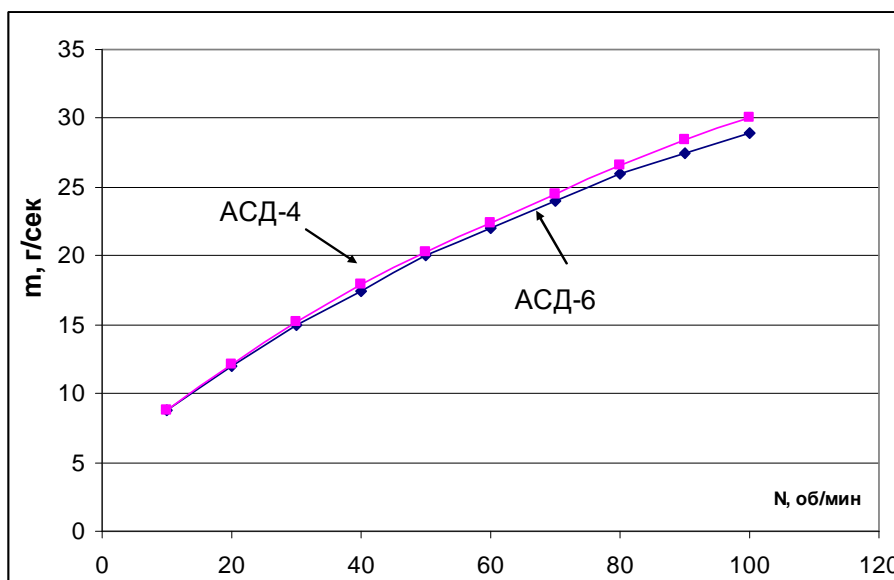


Рис. 1.3. Расходная характеристика дозатора порошка алюминия.

$m$  – расход порошка алюминия, г/с;  $n$  – число оборотов шнека, об/мин.

Узел приготовления водной суспензии порошка алюминия изображен на Рис. 1.4.

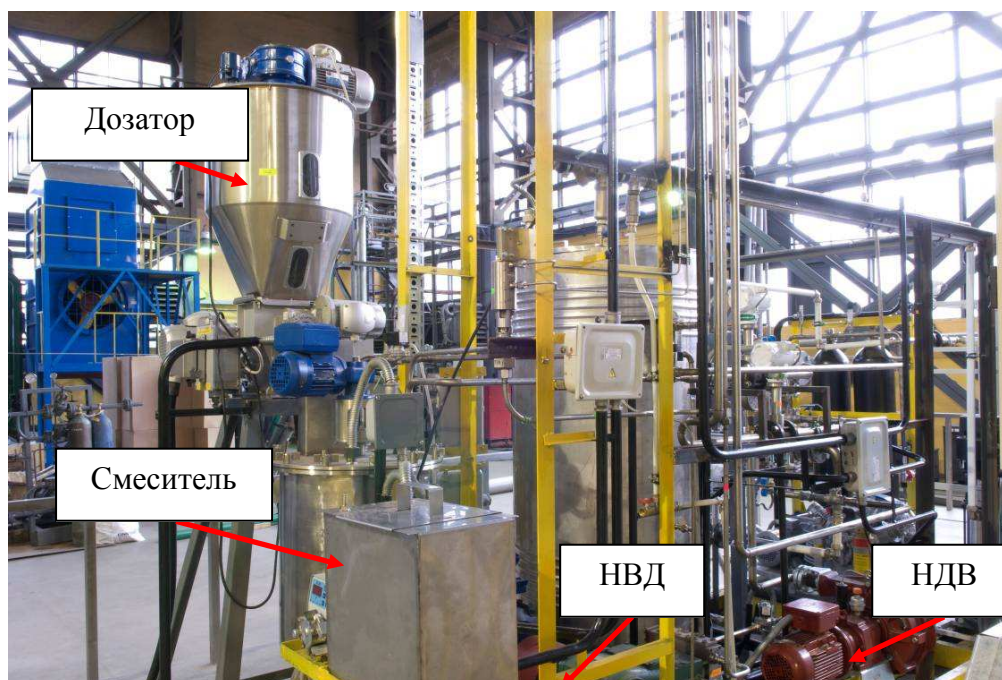


Рис. 1.4. Узел приготовления водной суспензии порошка алюминия.

#### 1.5.4 Нагрев реакторного блока

Реакторный узел установки ЭТК-100, состоящий из 2-х реакторов, изображен на Рис. 1.5.

Настройка режима разогрева реакторов осуществляется следующим образом. Включается внешний разогрев реакторов кнопками «On/Off» на мониторе АСКУ. Периодически с интервалом не менее 2 мин внутрь реакторов закачивается вода: открываются ЭМК-2, ПК-2 (ПК-9), и включается НДВ, клапаны закрываются. После достижения внутри реакторов рабочих термодинамических параметров  $T = 310 \div 330 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P \sim 10 \text{ МПа}$  разогрев прекращается. Операции проводятся в ручном режиме. Контроль процессов разогрева реакторов осуществляется по показаниям термопар ТЕ13а – ТЕ17а для реактора Р1 и ТЕ23а – 27а для реактора Р2.



*Рис. 1.5. Реакторный узел.*

### ***1.5.5 Запуск реакторного блока***

Запуск реакторного блока установки ЭТК-100 активируется нажатием кнопки «Пуск» на видеокadre «Управление» АСКУ. После нажатия данной кнопки в реакторы начинает поступать суспензия порошка алюминия и воды. В реакторах начинает протекать химическая реакция с образованием водорода, при этом вывод водорода (пароводородной смеси) из реакторов, его осушка и распределение на энергетическое оборудование осуществляется



полностью автоматически с помощью ранее разработанного алгоритма управления АСКУ. Подробное изложение настроек автоматических циклограмм работы блока генерации водорода изложены в «Руководстве оператора АСКУ ЭТК-100». В АСКУ ЭТК-100 предусмотрен ввод оператором числовых значений параметров циклограммы, которые могут изменяться в зависимости от вида используемых порошков алюминия и условий проведения экспериментов.

### ***1.5.6 Нормальная/аварийная остановка***

Работа энерготехнологической установки ЭТК-100 в автоматическом режиме начинается с запуска заданной автоматической циклограммы проведения процесса получения водорода и завершается по циклограмме нормального останова, обеспечивающей безопасность процесса. При возникновении аварийных ситуаций процесс получения водорода автоматически прекращается по циклограмме аварийной остановки.

Выключение реакторного блока установки ЭТК-100 активируется нажатием кнопки «Нормальная остановка» на видеокадре «Управление» АСКУ.

В процессе проведения испытаний возможен ряд ситуаций, при которых нарушается технологический режим, требования безопасного ведения процесса и охраны труда. В этих случаях предусмотрена аварийная остановка проведения испытания и перевод технологического оборудования в безопасное состояние.

Переключение на работу по автоматической циклограмме аварийной остановки процесса производится в следующих случаях:

- превышение НКПР водорода в воздухе производственного помещения:

$$182a - 191a = 0,04 \% \text{ об.}$$

- рост давления в реакторе Р1 выше задаваемого значения:

$$P_{T66a} = 25 \text{ МПа}$$

- падение давления в реакторе Р1 ниже задаваемого значения:

$$P_{66a} = 8 \text{ МПа}$$

- рост давления в водоотделителе ВО выше задаваемого значения:

PT112a = 25 МПа

- рост давления в доохладителе ДО выше задаваемого значения:

PT83a = 25 МПа;

- рост температуры в нижнем слое одного из реакторов P1 или P2 выше задаваемого значения:

TE17a = 450°C;

- рост давления на магистрали подачи алюмоводной суспензии выше задаваемого значения:

PT119a = 30 МПа;

- превышение уровня LE171a или LE172a смеси гидроксидов алюминия с водой в одном из реакторов;

- при понижении давления в магистрали насоса ПН системы охлаждения

PT78a  $\leq$  0,15 МПа;

- уменьшение давления в системе подготовки сжатого воздуха

PT120a  $\leq$  5 МПа

Для остановки работы установки по автоматической циклограмме предусмотрено:

- выключение узла приготовления суспензии;

- выработка, имеющейся в смесителе E1 суспензии алюминия с водой;

- отключение насоса высокого давления НВД;

- вывод пароводородной смеси и бемита по алгоритмам циклограммы проведения испытаний.

- дозатор ШД, насос дозировочный воды НДВ и насос дозировочный катализатора НДК выключаются;

- клапаны ЭМК-1, ЭМК-5, ПК-2 закрываются;

- при LE149a min насос НВД выключается;

- выводятся пароводородная смесь и бемит по алгоритмам циклограммы проведения испытаний.

Последующие операции по приведению установки в исходное состояние проводятся дистанционно в ручном режиме в соответствии со следующим разделом 1.5.7 «Операции по приведению установки в исходное состояние».

### ***1.5.7 Операции по приведению установки в исходное состояние***

После эксперимента производится промывка реактора и всех трубопроводов водой из БОВ. Для этого в реакторы подается вода с помощью НВД непосредственно из БОВ, так, как это осуществлялось при разогреве реактора. Образующийся пар выводится сверху и снизу реакторов, промывая, таким образом, трубопроводы вывода пароводородной смеси и конденсированной фазы продуктов реакции. Ввод воды в реакторы осуществляется до тех пор, пока их температура не опустится ниже 100 °С.

После промывки реакторов и трубопроводов происходит выключение компрессора ВК, ВПУ, производится продувка азотом трубопроводов и оборудования с обращением водорода: реакторов Р1 и Р2, теплообменника ТО, водоотделителя ВО, циклона ЦВ, баллонов водорода БА1...БА5. Затем отключаются баллоны водородной рампы БВ1...БВ5. Выключается система АСКУ.

## **1.6. Результаты проведения государственных приемочных испытаний**

Государственные приемочные испытания энерготехнологического комплекса ЭТК-100 проводились по схеме циклической работы двух реакторов. Подробные параметры автоматической циклограммы проведения испытания, нормальной и аварийной остановки приведены в «Алгоритмах АСКУ ЭТК-100» (Глава 4.6. Научно-технического отчета за 4-й этап государственного контракта № 02.526.12.6010).

Порядок работы блока генерации водорода установки ЭТК-100 без учета подготовительных операций представлен в виде диаграммы на Рис. 1.6.

В основе технологического процесса заложено многократное повторение цикла последовательной закачки исходной суспензии в 1-й и 2-й

реакторы. Продолжительность закачки в каждый реактор одинакова и выбирается такой, чтобы процессы окисления алюминия, образования бемита, его кристаллизации и вывода в каждом из реакторов завершались до момента возобновления в него подачи исходной суспензии.

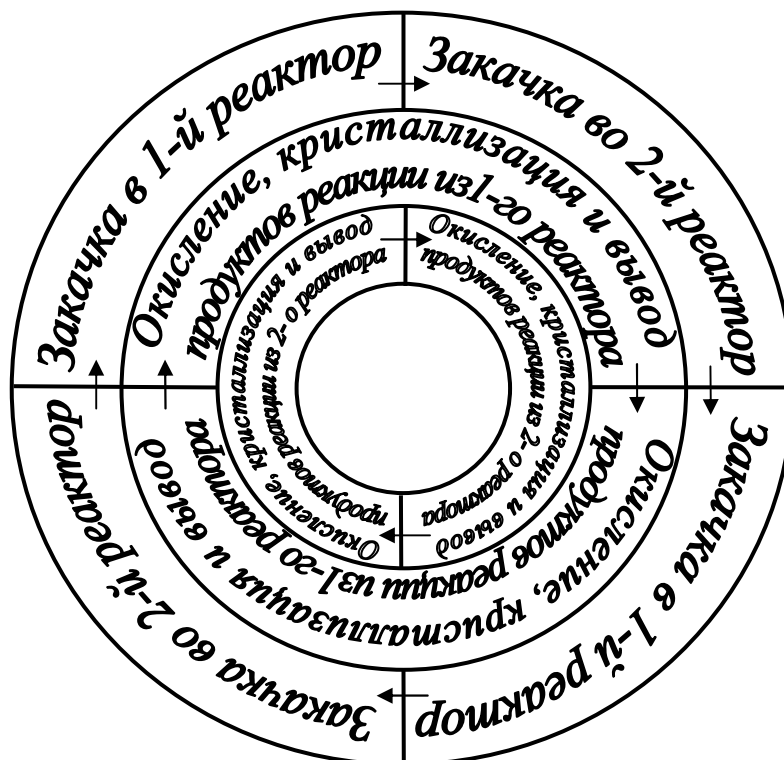


Рис. 1.6. Схема организации процессов в реакторах.

Закачка исходной водной суспензии алюминия начинается с 1-го реактора и длится определенное время, в течение которого в нем начинается процесс окисления алюминия с выделением водорода и образованием бемита. После завершения подачи в 1-й реактор водная суспензия алюминия начинает подаваться во 2-й реактор. Время закачки суспензии во 2-й реактор имеет ту же длительность, что и время подачи в 1-й. При этом в 1-м реакторе продолжается доокисление закаченного в него алюминия, происходит кристаллизация образовавшегося бемита в течение определенного времени и его вывод. После вывода бемита из 1-го реактора подача исходной суспензии, которая в этот момент производилась во 2-й реактор, переключается вновь на 1-й реактор. В это время во 2-м реакторе происходит доокисление алюминия, поступавшего с момента начала закачки исходной

суспензии в этот реактор, кристаллизация образовавшегося в нем бемита в течение определенного времени и его вывод, то есть процессы, аналогичные тем, что происходили в 1-м реакторе. С момента возобновления подачи суспензии в 1-й реактор описанная выше последовательность процессов начинается вновь, что обеспечивает непрерывность работы установки.

На Рис. 1.7 и 1.8 представлены графики изменения температур, давлений в реакторах установки в течение одного цикла их работы.

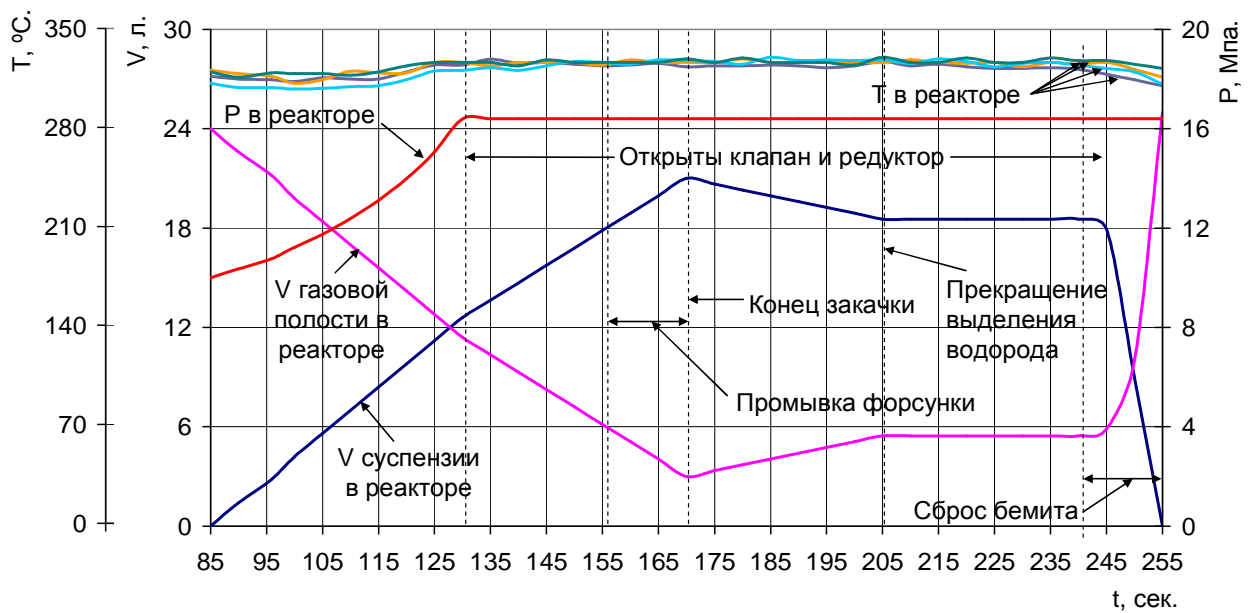


Рис. 1.7. Графики изменения давления и температур в реакторе P1.

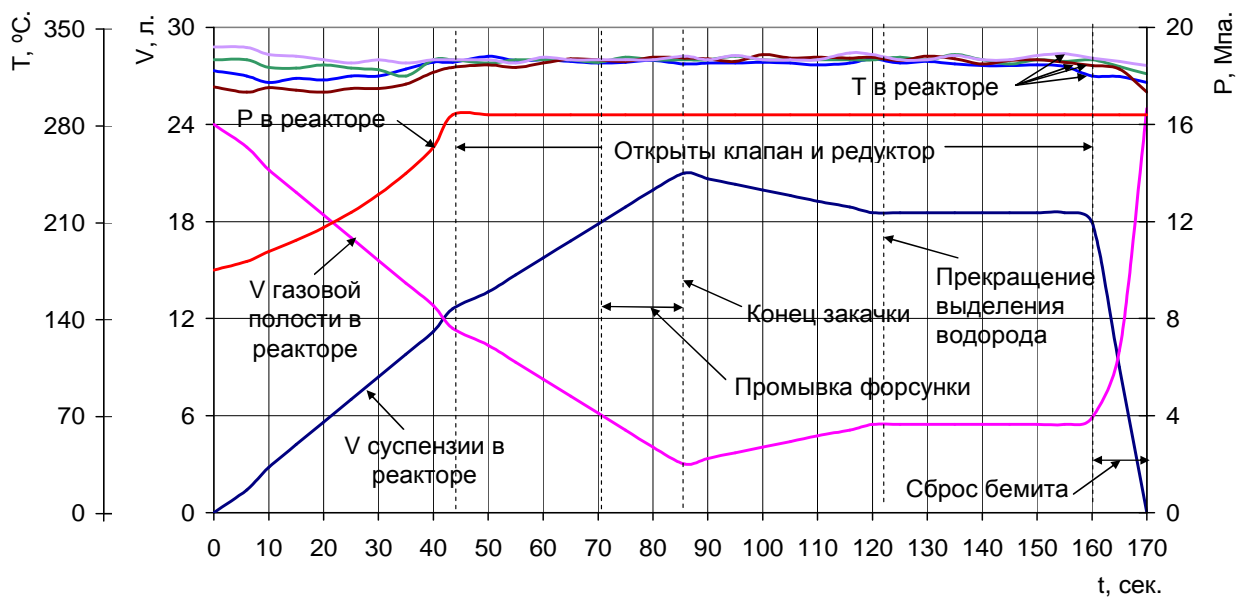


Рис. 1.8. Графики изменения давления и температур в реакторе P2.

На этих рисунках отмечены также и временные отрезки протекания технологического процесса: время заправки в реактора водной суспензии порошка алюминия, промывок форсунки, время вывода пароводородной смеси, вывода гидроксидов алюминия.

Подробные сведения о технологических параметрах блока реакторов, достигнутых в процессе приемочных испытаний приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Технологические параметры работы блока реакторов.

Технологический параметр	Значение
температура поверхности вверху реактора P1, С	340...350
температура поверхности в верхней половине реактора P1, С	340...350
температура поверхности в нижней половине реактора P1, С	330...340
температура поверхности внизу реактора P1, С	330...340
температура паро-водородной смеси в верхней части реактора P1, С	340...350
температура водоалюминиевой суспензии в верхней половине реактора P1, С	340...350
температура водоалюминиевой суспензии в нижней половине реактора P1, С	330...340
температура водоалюминиевой суспензии в нижней части реактора P1, С	330...340
температура паро-водородной смеси в верхней части реактора P2, С	340...350
температура водоалюминиевой суспензии в верхней половине реактора P2, С	340...350
температура водоалюминиевой суспензии в нижней половине реактора P2, С	330...340
температура водоалюминиевой суспензии в нижней части реактора P2, С	330...340
температура поверхности вверху реактора P2,	340...350
температура поверхности в верхней половине реактора P2, С	340...350

температура поверхности в нижней половине реактора P2, С	330...340
температура поверхности внизу реактора P2, С	330...340
давление паро-водородной смеси в верхней части реактора P1, МПа	14...16
давление паро-водородной смеси в верхней части реактора P2, МПа	14...16
уровень реакционной массы в реакторе P1, %	75
уровень реакционной массы в реакторе P2, %	75

Автоматические процессы водоподготовки, приготовления и подачи водной суспензии порошка алюминия в реакторы обеспечили бесперебойную работу установки в течении всего времени испытания. На Рис. 1.9 и 1.10 приведены соответственно циклограмма работы узла водоподготовки и измерения соотношения между исходными реагентами в суспензии, подаваемой в реакторы.

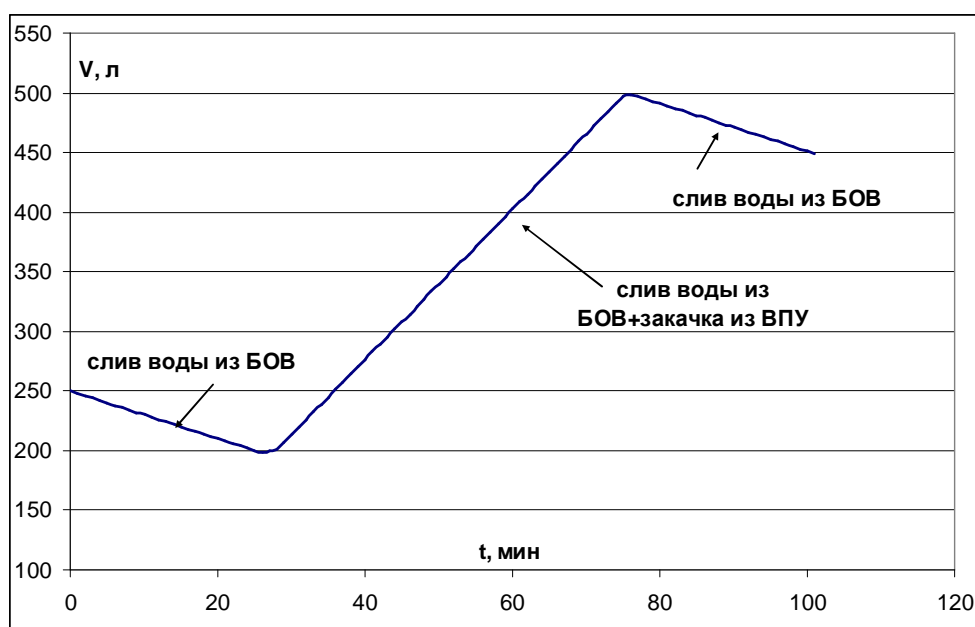


Рис. 1.9. Циклограмма работы узла водоподготовки.

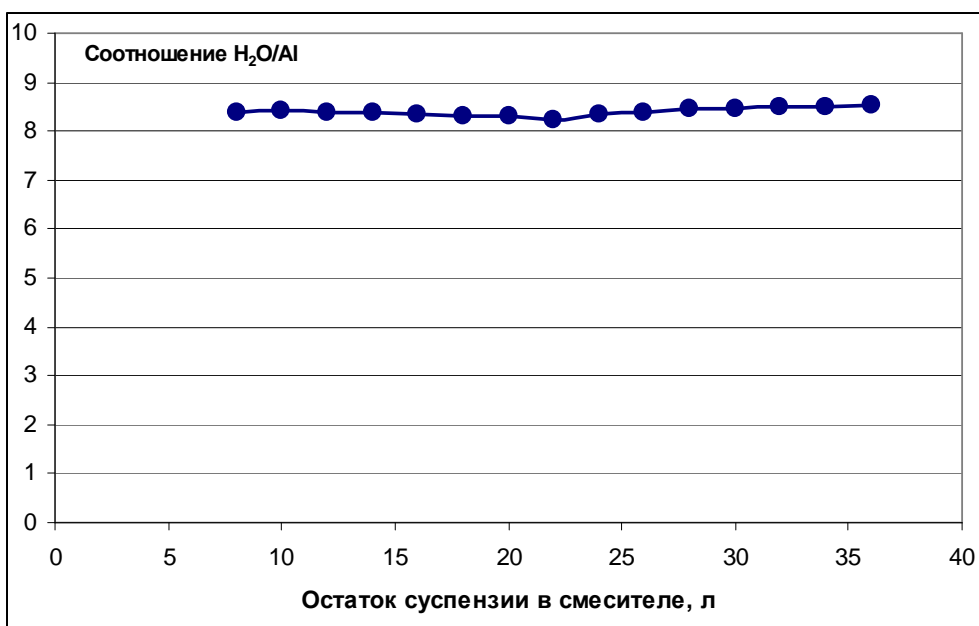


Рис. 1.10. Изменение соотношения  $H_2O / Al$  в суспензии в объеме смесителя.

Подробные сведения о технологических параметрах работы этих узлов в процессе приемочных испытаний приведены в таблицах 1.2 – 1.3.

Таблица 1.2. Технологические параметры узла водоподготовки.

Технологический параметр	Значение
температура исходной воды на входе в ВПУ, С	15
температура обессоленной воды после ВПУ, С	20
температура обессоленной воды в баке БОВ, С	25
температура катализатора в баке БРК, С	20
давление исходной воды на входе в ВПУ, МПа	0,05
давление обессоленной воды на напоре насоса НДВ, МПа	0,13
давление катализатора на напоре насоса НДК, МПа	0,1
расход исходной воды на входе в ВПУ, т/ч	0,7
расход обессоленной воды на выходе из ВПУ, т/ч	0,35
расход обессоленной воды на входе в Е1, т/ч	0,85
расход раствора катализатора на входе в Е1, т/ч	0,0025
уровень обессоленной воды в БОВ, %	50...90
уровень катализатора в баке БРК, %	10...90
удельная электропроводность обессоленной воды на выходе	0,3



из ВПУ, не более, мкСм/см	
удельная электропроводность обессоленной воды на выходе из БОВ, не более, мкСм/см	0,5
значение показателя рН исходной воды на входе в ВПУ, ед.рН	8,5
значение показателя рН обессоленной воды на выходе из БОВ, ед.рН	8,0

Таблица 1.3. Технологические параметры узлов приготовления и подачи водной суспензии порошка алюминия в реакторы.

Технологический параметр	Значение
температура водоалюминиевой суспензии в емкости Е1, С	25
температура водоалюминиевой суспензии на выходе насоса НВД, С	25
давление водоалюминиевой суспензии в трубопроводе на напоре насоса НВД, МПа	16
расход водоалюминиевой суспензии на напоре насоса НВД, т/ч	0,95
давление исходной воды на входе в ВПУ, МПа	0,05
давление обессоленной воды на напоре насоса НДВ, МПа	0,13
давление катализатора на напоре насоса НДК, МПа	0,1
расход исходной воды на входе в ВПУ, т/ч	0,7
расход обессоленной воды на выходе из ВПУ, т/ч	0,35

Результаты работы узла конденсации и охлаждения пароводородной смеси, выводимой из реакторов Р1 и Р2 в процессе приемочных испытаний свидетельствуют об эффективной работе основного конденсатора К1, а также о достаточной равномерности поддержания температуры водорода (ТЕ40а) на выходе из этого узла.

Показания основных термопар данного узла в течение эксперимента представлены на Рис. 1.11.

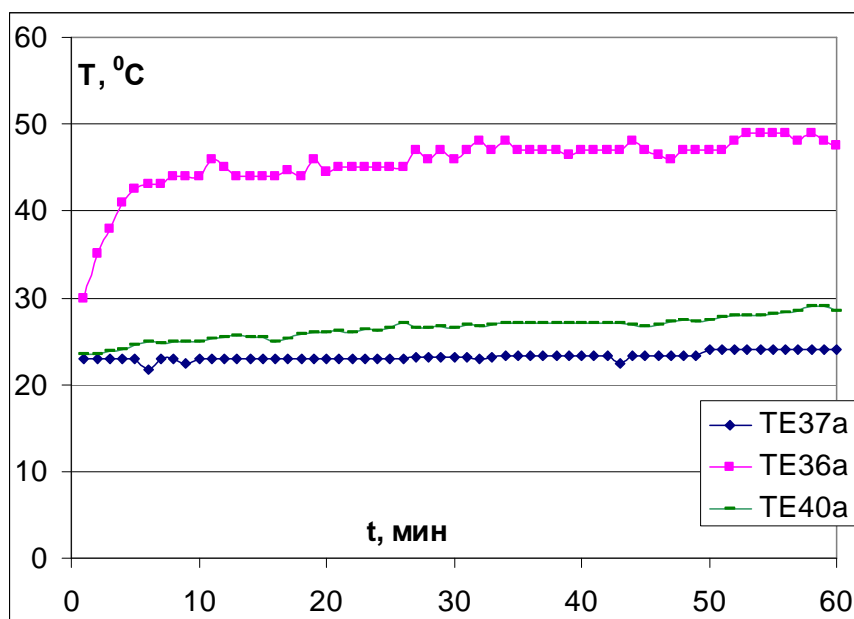


Рис. 1.11. Показания термопар TE36a, TE37a, TE40a во время работы узла конденсации и охлаждения пароводородной смеси.

Основные технологические параметры работы этого узла представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 Технологические параметры узла конденсации и охлаждения пароводородной смеси.

Технологический параметр	Значение
температура пара перед конденсатором К1.1, С	90
температура конденсата на выходе из конденсатора К1.2, С	30
температура конденсата между секциями К1.1 и К1.2, С	40
температура охлаждающей воды после рубашки конденсатора, С	25...30
температура конденсата на выходе из конденсатора, С	25...30
температура паро-водородной смеси на входе в ТО, С	340...350
температура водо-водородной смеси на выходе из ТО, С	85
температура охлаждающей воды на выходе из градирни ЦРВ, С	20
температура охлаждающей воды после рубашки	25...30

теплообменника ТО, С	
температура водорода в верхней части сепаратора С, С	30...40
температура паро-водородной смеси после регулятора РД1, С	60...70
температура конденсата в нижней части сепаратора С, С	25...30
температура конденсата на выходе из сепаратора С, С	25...30
температура конденсата на выходе из водоотделителя ВО, С	25...30
температура охлаждающей воды после рубашки сепаратора С, С	25...30
температура водорода после регулятора РД2, С	20...25
температура водорода после регулятора РД2, С	20...25
температура водорода в верхней части водоотделителя ВО, С	40...60
температура конденсата в нижней части водоотделителя ВО, С	25...30
температура охлаждающей воды после рубашки водоотделителя, С	25...30
давление пара в в верхней части емкости Е2, МПа	0,2...0,3
давление пара в верхней части конденсатора К1.1, МПа	0,2...0,3
давление конденсата после регулятора РУ1, МПа	0,02...0,05
давление паро-водородной смеси перед теплообменником ТО, МПа	14...16
давление охлаждающей воды на выходе из градирни ЦРВ, МПа	0,3...0,5
давление охлаждающей воды после теплообменника ТО, МПа	0,2...0,4
давление паро-водородной смеси перед РД1, МПа	14...16
давление конденсата в нижней части сепаратора С, МПа	4...10
давление конденсата за регулятором РУ5, МПа	0...0,05
давление водорода перед регулятором РД2, МПа	4...10
давление конденсата в нижней части	4...10

водоотделителя ВО, МПа	
давление конденсата за регулятором РУ4, МПа	0...0,05
давление охлаждающей воды после рубашки водоотделителя ВО, МПа	0,2...0,4
давление охлаждающей воды после рубашки сепаратора С, МПа	0,2...0,4
давление охлаждающей воды после рубашки емкости Е2, МПа	0,2...0,4
давление охлаждающей воды после рубашки конденсатора К1.1, МПа	0,2...0,4
давление обессоленной воды на напоре насоса НУБ, МПа	0,1...0,2
расход паро-водородной смеси на выходе из теплообменника ТО, м <sup>3</sup> /ч	0,4...0,6
расход конденсата на выходе из сепаратора, т/ч	0,05...0,10
расход конденсата на выходе из конденсатора, т/ч	0,15...0,20
расход конденсата на выходе из водоотделителя, т/ч	0,35...0,50
расход охлаждающей воды на входе в градирню ЦРВ, т/ч	36,7
расход охлаждающей воды после рубашки сепаратора, т/ч	0,3
расход охлаждающей воды после рубашки водоотделителя ВО, т/ч	4,0
расход охлаждающей воды после рубашки конденсатора, т/ч	2,3
уровень конденсата в сепараторе С, %	50
уровень конденсата в водоотделителе ВО, %	50
уровень конденсата в конденсаторе К1, %	50
Удельная электропроводность конденсата на выходе из водоотделителя ВО, не более, мкСм/см:	1,0
Удельная электропроводность конденсата на выходе из сепаратора С, не более, мкСм/см:	1,0
Удельная электропроводность конденсата на выходе из конденсатора К1, не более, мкСм/с	1,0
значение показателя рН конденсата на выходе водоотделителя, сепаратора и конденсатора, ед.рН:	7,5

Величина давления водорода в эксперименте поддерживалось с помощью регулятора РД12 и контролировалось датчиком РТ83а. В соответствии с предварительными настройками регулятора давления РД12 в ДО во время эксперимента поддерживалось давление  $\approx 100$  атм.

Во время работы реакторного блока образующийся водород направлялся в водородную рампу. В эксперименте были задействованы все баллоны (БВ1-БВ5) с начальным давлением водорода 0.4 МПа. Рост давления в системе конденсации пароводородной смеси (РТ83а) и водородной рампе (РТ96а) показан на Рис. 1.12. Из Рис. 1.12 видно, что давление в системе конденсации пароводородной смеси в номинальном режиме работы реакторного блока достигает  $\sim 100$  атм через  $\approx 6,5$  минут после начала эксперимента, после чего водород запирается регулятором давления РД12.

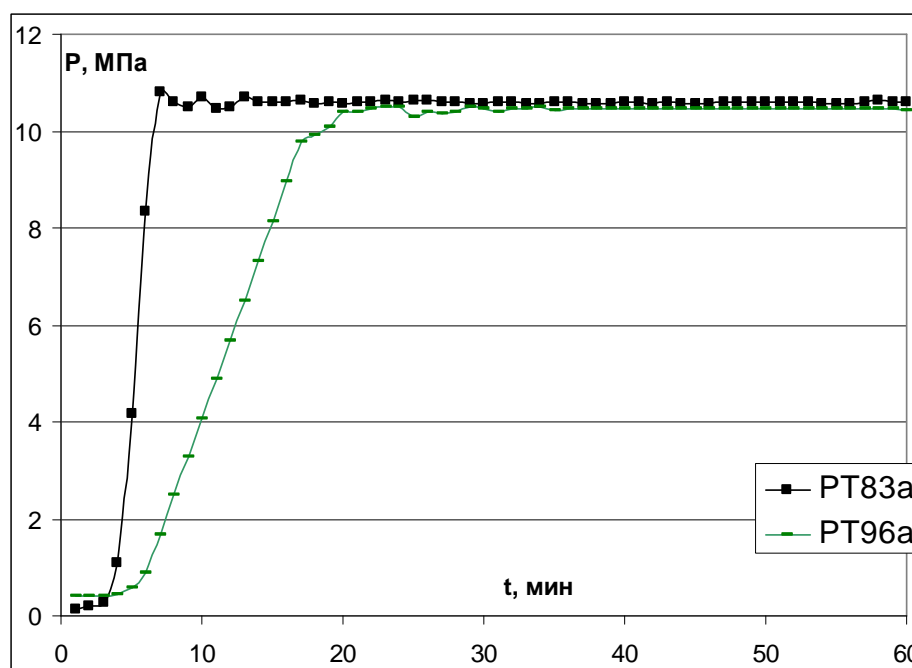


Рис. 1.12. Давление в ДО - РТ83а, давление в водородной рампе.

Давление в водородной рампе растет со средней скоростью 8,1 атм/мин и через 18,5 мин достигает максимального значения  $\sim 100$  атм. Таким образом, водородные баллоны были полностью заполнены водородом с точкой росы  $-32$   $^{\circ}\text{C}$ . Еще  $66,6$   $\text{нм}^3$  водорода были сброшены на свечу через

клапаны ПК-12 и ПК-13. Технологические параметры работы этого узла приведены в таблице 1.5

Таблица 1.5. Технологические параметры работы узла накопления и раздачи водорода потребителям.

Технологический параметр	Значение
температура водорода на входе в БТЭ, С	10...20
температура водорода на входе в котел, С	10...20
температура водорода на входе в ГТУ-1500, С	10...20
давление водорода после регулятора РД2, МПа	2...10
давление водорода после регулятора РД4, МПа	0,8
давление водорода после регулятора РД5, МПа	0,03
давление водорода после регулятора РД6, МПа	1,2
давление водорода после регулятора РД11, МПа	1,3...1,5
давление водорода в коллекторе водородной рампы, МПа	4...10
давление водорода в баллоне БВ1, МПа	4...10
давление водорода в баллоне БВ2, МПа	4...10
давление водорода в баллоне БВ3, МПа	4...10
давление водорода в баллоне БВ4, МПа	4...10
давление водорода в баллоне БВ5, МПа	4...10
расход водорода на входе в БТЭ, нм <sup>3</sup> /ч	25
расход водорода на входе в котел или ГТУ-1500, нм <sup>3</sup> /ч	75
относительная влажность водорода после регулятора РД2, %	1,0

Чистота водорода, основным компонентом примеси которого является водяной пар, при температуре 25 °С и давлении 100 атм составляет 99,969, что удовлетворяет нормам марки Б по ГОСТ 3022-80 для данного газа.

Вывод гидроксидов алюминия (бемита) из реакторов Р1 и Р2 как было показано на диаграмме процессов в реакторном блоке (Рис. 1.29), производился периодически.

На Рис. 1.13 представлен отрезок времени, когда был осуществлен один из таких выводов.

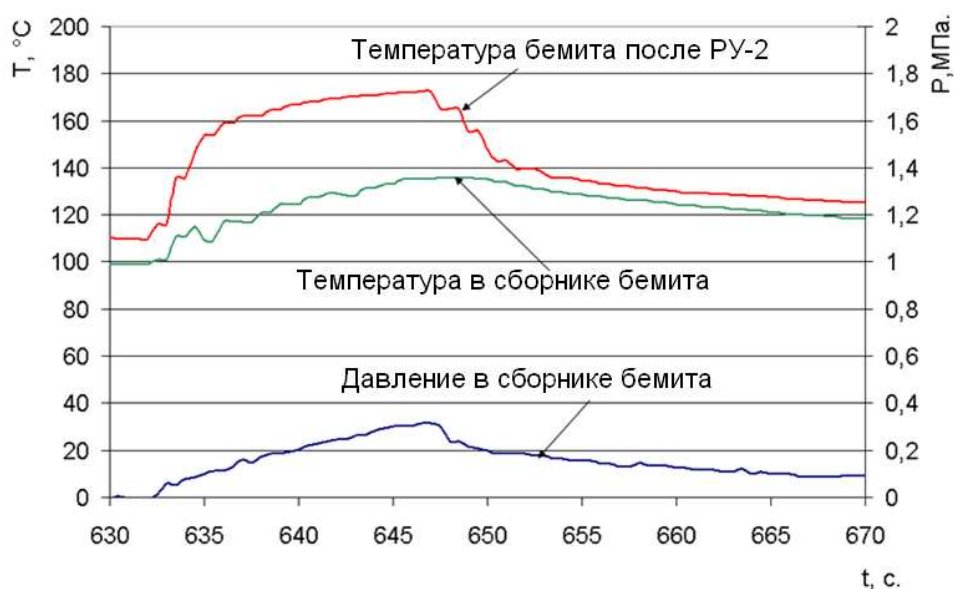
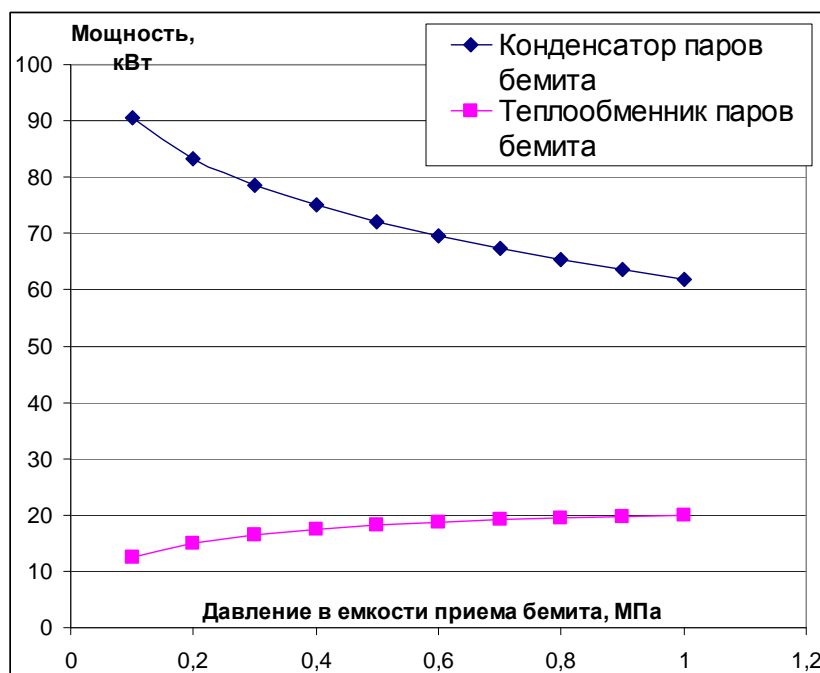


Рис. 1.13. Изменение температур и давлений в тракте вывода бемита.

Из Рис. 1.13 видно, что во время открытия клапана ПК-03 (ПК-08) температура и давление в сборнике бемита повышаются. Из реактора гидротермального окисления алюминия суспензия воды и гидроксида алюминия давлением выдавливается в емкость приема бемита. При этом суспензия дросселирует, проходя через суживающееся отверстие. Энтальпия до и после дросселя остается постоянной. Если рассмотреть паровую компоненту смеси отдельно, то согласно T-S диаграммы для воды и водяного пара, хорошо известной из курса технической термодинамики, пар, расширяющийся с левой пограничной кривой линии насыщения, в процессе дросселирования переходит в область больших коэффициентов сухости. Другими словами, часть воды после дросселирования испаряется.

Тепловые мощности конденсатора паров бемита К2.1 и следующего за ним теплообменника паров бемита К2.2 при определенно заданном расходе зависят от давления, поддерживаемого в баке. Для расхода воды 300 кг/ч на Рис. 1.14 представлена эта зависимость.



*Рис. 1.14. Тепловые мощности конденсатора паров бемита и теплообменника паров бемита в зависимости от давления в баке приема бемита.*

Из рисунка видно, что с увеличением давления тепловая мощность конденсатора уменьшается, а теплообменника увеличивается. При этом очевидно, что их суммарная тепловая мощность, она же мощность конденсатора-охладителя, остается постоянной. Рис. 1.14 показывает также диапазон расчетных мощностей, на которые сконструированы теплообменник и конденсатор. Средняя тепловая мощность узла накопления, кондиционирования и удаления бемита в эксперименте получилась равной 143 кВт, т.е. за 1 час в данном узле было получено 143 кВтч тепловой энергии. При этом масса обезвоженного бемита составила  $\approx 203$  кг.

Из бака приемки бемит с помощью насоса НВБ поступает в отстойник, где происходит его декантация. Декантация бемита представляет собой механическое отделение сгустка от жидкой фазы воды за счет сливания раствора с осадка.

Если на выходе из реактора отношение массы бемита к массе воды в суспензии принимает значение из интервала  $0,6 \div 1,7$ , то за счет испарения



части воды, на входе в устройство осаждения и сушки бемита границы этого интервала сдвигаются вправо (бемит становится суше). Величина сдвига зависит от давления, поддерживаемого в баке приемки бемита. Так для давления 0.2 МПа для расхода бемита в 203 кг/ч отношение массы бемита к массе воды на входе в отстойник может составлять  $1 \div 2.5$ .

Подробные сведения о технологических параметрах работы этого узла установки ЭТК-100 в процессе приемочных испытаний приведены в таблице 1.6

Таблица 1.6 Технологические параметры работы узла накопления, кондиционирования и вывода бемита.

Технологический параметр	Значение
температура охлаждающей воды после охлаждающей рубашки емкости E2, С	25...30
температура охлаждающей воды после конденсатора К1.1, С	25...30
давление на напоре насоса выгрузки бемита НВБ, МПа	0,4...0,5
расход бемита на выходе из реакторов Р1 и Р2, т/ч	0,45...0,50
расход охлаждающей воды после рубашки емкости E2, т/ч	6,8
расход охлаждающей воды через ТО, т/ч	23,3
уровень бемита в емкости E2, %	30...70

По завершении приемочных испытаний технологических систем объекта персоналом предприятия ОИВТ РАН и представителями привлекаемых организаций выполнялись:

- выработка запаса рабочих компонентов, продуктов в соответствующих агрегатах;
- отключение испытываемого агрегата и его останов;
- полное удаление конденсата из всех аппаратов;
- продувка агрегата азотом.

В процессе приемочных испытаний энерготехнологического комплекса ЭТК-100 основные технологические параметры имели следующие значения:

Номинальная производительность по водороду, усредненная за один

эксперимент, составила 110 м<sup>3</sup>/час. Суммарная мощность высокопотенциального тепла, полученного с помощью конденсатора К1, рассчитанная в соответствии с п. 4.2. Программы и методик приемочных испытаний, составила 260 кВт. Масса, полученного гидроксида алюминия (бемита), - 203 кг за 1 час работы установки. Таким образом, требования п. ТЗ 4.1.3.2 в ходе приемочных испытаний ЭТК-100 выполнены.

В целом государственные приемочные испытания энерготехнологического комплекса ЭТК-100 подтвердили правильность проектных, технологических и конструкторских решений, принятых при разработке энерготехнологического комплекса ЭТК-100 в соответствии с ТЗ (Приложение № 1 к государственному контракту от «14» августа 2008 г. № 02.526.12.6010).

## **2. Проведение патентного поиска**

### **2.1. Общие данные об объекте исследования**

#### ***Краткое описание объекта исследования***

*Объектом исследования* является экспериментальная когенерационная энергоустановка для получения водорода, тепловой и электрической энергии, а также твердого би-продукта (бемит), выделяющихся в результате взаимодействия высокодисперсного алюминия с водой в гидротермальных условиях.

Использование алюминия в качестве промежуточного энергоносителя позволяет решить три важнейшие задачи водородной энергетики, а именно: обеспечение экономически эффективной и безопасной транспортировки энергоносителя; безопасное длительное хранение водорода в связанном виде на месте его потребления; радикальное снижение стоимости водорода для автономных потребителей за счет продажи би-продуктов.

#### ***Области применения объекта исследования***

- энергетика;
- экологически чистые автономные системы обеспечения энергией.

#### ***Перспективные направления применения результата***

Создание энергоэффективных систем энергообеспечения автономных потребителей, в том числе удаленных от магистральных сетей.

#### ***Цель поиска информации***

Обзор патентной информации необходим для исследования патентной чистоты разрабатываемых когенерационных энергоустановок для производства водорода. Отдельно рассматриваются заявки на изобретения и полезные модели до 2008 года (начало работ по контракту) и за последние три года 2008-2010 гг. (время выполнения работ по контракту).

### **2.2. Обоснование регламента патентного поиска**

Ведущими странами в данной области техники являются США, Япония, Европейский союз. В качестве стран поиска выбраны именно эти страны. Поиск по СССР и РФ является обязательным.

Для оценки уровня техники и тенденций развития глубина поиска (ретроспективность) выбрана 30 лет, учитывая тот факт, что данная область техники развивается в течение длительного периода времени, а также наличие доступных источников патентной информации в базах данных.

Патентный поиск заявок, зарегистрированных в Российской Федерации, проводился по электронным базам данных Федерального института промышленной собственности (ФИПС) с использованием логической системы поиска (<http://www.fips.ru>). В процессе поиска был охвачен временной интервал с 1994 по 2010 г.г. включительно. Кроме этого осуществлялся поиск патентов и заявок, зарегистрированных в СССР и РФ за период 1977 – 1994 гг из базы данных Всероссийской патентно-технической библиотеки Федерального института промышленной собственности (ВПТБ ФИПС). Поиск зарубежных патентов и заявок осуществлялся с помощью интернет-сайтов [www.epespacenet.com](http://www.epespacenet.com) и [www.uspto.gov](http://www.uspto.gov). Определяющими ключевыми терминами являлись следующие слова и словосочетания: «Получение водорода», «Генерирование водорода», «Гидротермальное окисление алюминия», «Окисление алюминия», «Газогенератор водорода», «Смесь гидрореагирующая», «Получение гидроксидов алюминия», «Получение бемита». По этим ключевым словам было найдено 180 заявок, из которых отобрано 85. Было проведено сопоставление заявок, отобранных по разным ключевым словам, с целью исключения повторов.

Анализ рефератов и полных описаний изобретений позволил выделить следующие основные технические направления, в которых идут разработки, решая проблему создания энергетических установок с реакторами водорода.

1. Способ генерирования водорода с использованием реакции порошкообразного (измельченного) металла выбранного из группы: Al, Mg, Si, Zn или их сплавов с водой в присутствии гидроксида натрия или другого катализатора (патенты РФ №2314253, №2297386, № 2253606, №2267836, №2260880, з-ка № 2004100801, № 2093456, патенты США №6506360, №6582676, №6638493, №4543246, US 2003118505, US 2003143155, GB

2344110 и др.). Следует отметить, что интенсивность патентования в этом направлении свидетельствует о его перспективности.

2. Способ генерирования водорода путем взаимодействия нагретой воды или пара с частицами железа (см. патент США №5510201, патент РФ № 2192072 и др.).

3. Паровой реформинг газообразования углеводородного сырья (патент РФ № 2300493, №2296392, № 2290363, з-ка РФ № 2004121723, з-ка РФ №2002100811, патент США № 4919844, EP 0171786, JP 61058801 и др.).

Сравнения выделенных направлений по интенсивности патентования позволяет предположить, что наиболее перспективным направлением является первое. Следует отметить, что разрабатываемая энергоустановка относится именно к этому направлению.

Отобранные заявки первого направления Российских патентов за последние три года (2008-2010) по способу получения водорода из металлов и воды можно разделить следующим образом:

1. Получение водорода путем взаимодействия алюминия или его сплавов с водой – 3 заявки.

2. Получение водорода путем взаимодействия алюминия или его сплавов с водой в присутствии щелочных добавок – 4 заявки.

3. Высокотемпературное окисление мелкодисперсного алюминия для получения водорода – 4 заявки.

### **2.3. Выявление ведущих фирм-разработчиков**

Анализ библиографических данных к патентам позволил выявить следующие ведущие в данной области фирмы, организации и исследователи:

#### РФ

1. ОАО РКК «Энергия» им С.П.Королева (3 патента).

2. ГОУ ВПО «Обнинский государственный технический университет атомной энергетики» (2 патента).

3. ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники и технологии (2 патента).

4. Могилевский И.Н. (2 патента).

#### Япония

1. Hitachi Maxell (7 патентов).
2. Nitto Deuko Corp. (6 патентов).
3. Mitsubishi Heavy Ltd. (2 патента).

#### Канада

1. Univ. British Columbia (5 патентов).
2. Andersen E.R. (5 патентов).

#### США

1. US NAVY (2 патента).

В Европе явно выраженных лидеров по исследуемому направлению не выявлено. Данной проблематикой занимается множество различных фирм.

### **2.4. Выводы**

Патентный поиск проведен по всем предметам поиска и источникам информации, предусмотренным регламентом. Отчет составлен согласно ГОСТ Р 15.011-96.

Анализ технических приемов, положенных в основу генерирования водорода в соответствии с изобретениями, позволил выявить ряд технических направлений, в которых идут изобретатели, создавая новые способы генерации водорода, и выделить наиболее перспективные из них.

На основе анализа библиографических данных к патентам были выявлены ведущие в данной области фирмы-разработчики. В РФ таковыми являются ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева; ГОУ ВПО Обнинский государственный технический университет атомной энергетики; ФГУП ЦНИИСЭТ. В Японии ведущими фирмами являются Hitachi Maxell; Nitto Deuko Corp.; Mitsubishi Heavy Ltd. В Канаде – Univ. British Columbia, а в США – US NAVY.

Проведенный патентный поиск достаточно полно отразил ситуацию с правом интеллектуальной собственности на исследования и разработки в области генерирования водорода на основе реакций окисления легких

металлов водой. Разрабатываемые когенерационные энергоустановки на данный момент не имеют близких аналогов по назначению и энергоэффективности. Таким образом, созданные энергоустановки являются полностью оригинальными и обладают патентной чистотой.

Отчет о патентных исследованиях приведен в *Приложении А*.

### **3. Проведение мероприятий по организации опытно-промышленного производства автономных ЭТК**

В состав мероприятий по организации опытно-промышленного производства автономных энерготехнологических комплексов входит:

1) конструкторская подготовка производства (КПП):

- получение конструкторской документации от разработчика;
- проверка документации на комплектность;
- внесение изменений в соответствии с особенностями предприятия-изготовителя;

- внесение изменений по результатам отработки конструкции на технологичность;

- внесение изменений по результатам технологической подготовки производства;

- техническое сопровождение изготовления опытной партии изделий;

- внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам изготовления опытной партии;

2) технологическая подготовка производства (ТПП):

- планирование ТПП;
- отработка конструкции на технологичность;
- разработка технологических процессов;
- выбор оборудования;
- выбор и проектирование оснастки;
- нормирование.

3) организационная подготовка производства к опытно-промышленному освоению новой продукции (ОПП):

- планирование и моделирование процессов ОПП;
- изготовление специальной технологической и контрольной оснастки;
- расчеты количества и номенклатуры дополнительного оборудования, составление заявок и размещение заказов на оборудование;



- расчеты оперативно-плановых нормативов, циклов, величин партий, заделов;
- расчеты и проектирование планировок оборудования и рабочих мест, формирование производственных участков;
- проектирование и выбор межоперационного транспорта, тары, оргтехоснастки и вспомогательного оборудования; составление заявок и размещение заказов;
- изготовление транспортных средств, тары, оргтехоснастки и прочего вспомогательного оборудования;
- приемка, комплектация и расстановка основного, вспомогательного оборудования, транспортных средств и оргтехоснастки на рабочих местах;
- обеспечение материалами, заготовками, деталями и узлами, получаемыми от поставщиков;
- подготовка и комплектование кадров;
- организация изготовления опытной партии;
- определение себестоимости и цены изделий;
- подготовка обеспечения товародвижения, распространения новых изделий и стимулирования сбыта.

### **3.1. Конструкторская подготовка производства (КПП)**

Особенностью планируемого производства будет являться индивидуальный подход к каждому клиенту. Это связано с возможностью адаптации выходных параметров ЭТК к требованиям потребителя.

Комплекты поставки, технические характеристики энерготехнологических комплексов могут варьироваться в зависимости от потребностей того или иного Заказчика в выходных продуктах – электроэнергии, тепле, водороде и бемите. Причем изменяться могут не только производительность установок, но и качество товарной продукции. Например, изменяться может чистота водорода, дисперсность бемита, температурный график работы теплофикационного блока установки и т.п.

Заказчик может выбрать конфигурацию и расположение отдельных блоков установки. На данном этапе решается задача встраивания установки в конкретный производственный процесс и наиболее оптимального расположения ключевых блоков установки на производственных площадях.

В зависимости от этапа реализации проекта и потребностей Заказчика установка может выпускаться в следующих модификациях:

- производство водорода. Бемит направляется на регенерацию до алюминия, тепло используется на нужды основного технологического процесса

- производство бемита и водорода. Тепло также используется на нужды основного технологического процесса.

- производство электрической и тепловой энергии. Водород используется на производство электрической энергии. Бемит преимущественно направляется на регенерацию.

Исходя из конфигурации Заказчика, формируется спецификация заказа с основными техническими параметрами установки, разрабатывается смета, техническое задание и договор на создание установки.

После заключения договора и определения спецификации заказа готовится проектная документация для конкретного технологического решения, в рамках которой определяются все параметры установки, технические характеристики составных частей, фирмы-производители и параметры комплектующих.

Для стандартных по производительности установок (100 м<sup>3</sup>/ч по водороду) данный этап занимает в среднем 3 месяца.

### **3.2. Технологическая подготовка производства (ТПП)**

В соответствии с единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП) были проведены следующие мероприятия: прогнозирование, планирование и моделирование ТПП, технологический контроль конструкторской документации, подготовка и внесение изменений в конструкторскую документацию, обеспечивающих достижение

оптимальных показателей технологичности; разработка техпроцессов контроля деталей, сборки и испытаний и прочей технологической документации; выбор и обоснование использования универсального, специального, агрегатного и нестандартного оборудования (*Приложение Б*); расчеты норм расходов материалов.

### **3.3. Организационная подготовка производства (ОПП)**

На данном этапе разработана функциональная модель организации опытно-промышленного производства энерготехнологического комплекса (*Приложение В*). Функциональное моделирование выполнено по методологии «Структурный анализ и проектирование» SADT (Structured Analysis & Design Technique) в стандарте IDEF0. На контекстной диаграмме А0 представлены основные функции организации производства ЭТК: разработка проектной документации (блок 1); закупка и изготовление сборочного оборудования (блок 2); сборка установок (блок 3); пусконаладочные работы (блок 4); поставка и монтаж установок на территории потребителя (блок 5); послепродажное обслуживание (блок 6). Данные функции декомпозируются для рассмотрения подробных взаимосвязей внутри модели на диаграммах А1-А6. Использование моделирования организации производства позволит избежать серьезных издержек в процессе изготовления энерготехнологических комплексов.

Энерготехнологические комплексы состоят из ряда ключевых блоков, каждый из которых изготавливается по индивидуальному заказу. Поставщики ключевых блоков являются российскими производителями, зарекомендовавшими себя на поставках соответствующего оборудования и готовыми к обеспечению производства комплектующими в необходимых количествах (см. *Приложение Б*).

Сборка установок осуществляется на производственной площадке компании. Потребность в производственно-офисных площадях составляет около 800 кв.м. На данной площади будут располагаться две производственные зоны по 200 кв.м. каждая и место под складирование

комплектующих, площадью 200 кв.м. Дополнительно будет арендовано 200 кв.м. офисных площадей.

Производственная площадка компании должна быть расположена в зоне транспортной досягаемости разработчиков и исследователей, предположительно в Московском регионе.

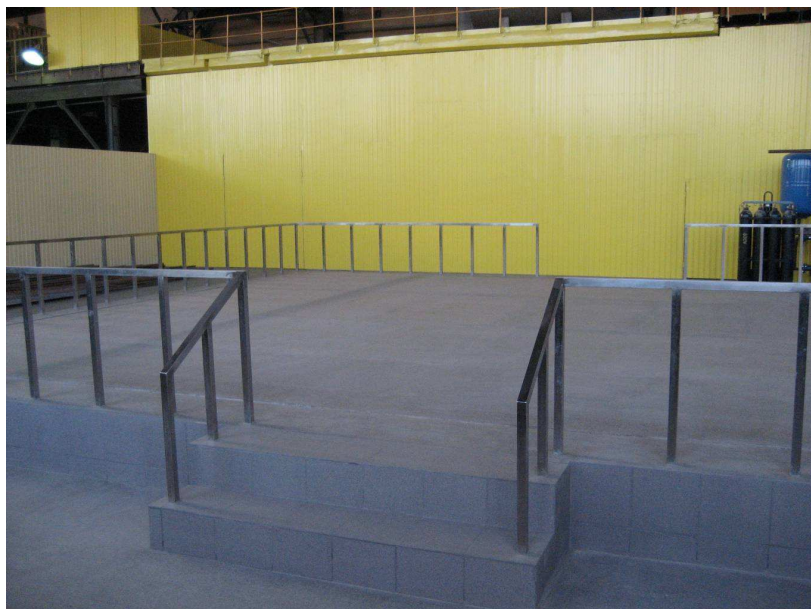


Рис. 3.1. Производственная зона для сборки установок

Узлы на данном этапе собираются из готовых комплектующих а затем монтируются в единую установку. Монтаж осуществляют двое рабочих в сопровождении технолога. Данный этап занимает в среднем один месяц и может быть уменьшен при сокращении сроков поставки комплектующих.

Для сборки установок не предполагается использование специального оборудования: станков, технологически сложных инструментов, подвесных кран - балок и т.д.

Наиболее оптимальным вариантом при данных объемах производства являются вилочные погрузчики (электропогрузчики), грузоподъемности до 2 000 кг. Под данную категорию подходит вилочный погрузчик (электропогрузчик) Balkancar EB 687.33 и EB 717.33 - грузоподъемность от 1000 до 2000 кг, высота подъёма от 3300 до 4500 мм, стоимость от 290 000 руб.

В том случае, если характеристик данных погрузчиков окажется недостаточно при сборке установок, то оптимальным вариантом является вилочный погрузчик (электропогрузчик) BULCAR CPD 30 – грузоподъемность 3000 кг, высота подъёма 3000 мм, стоимость 350 000 руб.

Планируется использовать два погрузчика BULCAR CPD 30. Помимо погрузочной техники также будет использоваться значительное количество ручного инструмента и малоценных комплектующих. Ориентировочная сумма затрат на инструмент и малоценные комплектующие составит 300 тысяч рублей.

Также планируется приобрести оборудование для осуществления поверхностной механической обработки закупаемых комплектующих.

После доработки типового проекта ЭТК формируются заказы на нестандартное оборудование для установки (*Приложение Б*). Энерготехнологическая установка будет содержать следующие основные функциональные узлы:

- узел водоподготовки;
- узел приготовления водоалюминиевой суспензии с использованием в качестве исходного компонента мелкодисперсного алюминия;
- узел технологических реакторов для проведения реакций окисления алюминия при высоких температурах и давлениях с получением водорода и бемита ( $\text{AlOOH}$ ) по реакции:  $\text{Al} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AlOOH} + 1,5\text{H}_2$ ;
- узел охлаждения и осушки получаемого водорода;
- узел накопления водорода в газовой фазе в баллонах с целью его аккумулялирования и хранения;
- узел подачи водорода на утилизационное энергооборудование – на электрохимический генератор с топливными элементами;
- узел накопления, кондиционирования и удаления бемита;
- вспомогательное оборудование, обеспечивающее работу основного оборудования и безопасность технологического процесса.

Данный этап работ занимает до трех месяцев, так как в большинстве случаев необходимо заказывать нестандартное оборудование.

Для реализации проекта будет необходим следующий персонал:

Должность	Количество человек
Директор по производству	1
Главный технолог	1
Технолог	2
Водитель	2
Итого инженерно-технический и вспомогательный персонал	6
Рабочий	8
Итого производственный персонал	3
Генеральный директор	1
Главный бухгалтер	1
Бухгалтер	1
Секретарь	1
Итого управленческий персонал	4
Руководитель отдела продаж	1
Менеджер по продажам	2
Итого коммерческий персонал	3
<b>ВСЕГО:</b>	<b>21</b>

Штат предприятия будет комплектоваться постепенно. Производственный персонал будет набираться в соответствии с потребностями по мере роста портфеля заказов.

Штаты административно-управленческих сотрудников будут полностью укомплектованы на второй год реализации проекта.

На первом году в офис будут приняты директор, главный бухгалтер, а также еще три сотрудника.

Удельные затраты сырья и материалов, энергии, времени работы персонала, необходимые для производства установки отражают себестоимость этой установки. Ниже в таблицах 3.1 и 3.2 отражены затраты на основное и вспомогательное оборудование, затраты на электроэнергию, а также трудовые затраты, исходя из количества человеко-часов, необходимых для производства установки.

Таблица 3.1. Затраты на узлы и агрегаты для производства одной установки

Наименование	Стоимость, руб.
Загрузочное устройство	1 125 000
АСКУ	1 875 000
Насос-дозатор	375 000
Насос ВД	375 000
Насос охлаждения	125 000
Дозатор	1 625 000
Смеситель	375 000
Реакторы	750 000
Устройство удаления бемита	1 500 000
Барботер	300 000
Бесперебойник	375 000
Нагреватели клапана	3 000 000
КИПиА	1 000 000
Компрессор ВД	427 500
Теплообменники	562 500
Сушильная камера	1 000 000
Малоценные комплектующие	1 379 000
<b>Итого:</b>	<b>16 169 000</b>

Трудоемкость сборки одной установки составляет 792 нормо-часа.

Прочие производственные издержки планируются на уровне 50% к фонду оплаты труда производственных рабочих.

Таблица 3.2. Итоговые производственные затраты на одну установку (себестоимость).

Статья	Затраты, руб.
Затраты на сырье и комплектующие	16 169 000
Оплата труда производственных рабочих	99 000
Единый социальный налог	33 600
Прочие производственные расходы	49 600
<b>ИТОГО:</b>	<b>16 351 200</b>

#### **3.4. Мероприятия по подготовке опытно-промышленного производства:**

1. Разработана функциональная модель подготовки опытно-промышленного производства ЭТК-100.

2. Проработаны связи с изготовителями нестандартных основных и вспомогательных агрегатов, комплектующих и запчастей (пункт «поставщик» в таблице Приложения Б). Определены поставщики стандартного оборудования.

Основные организации-изготовители нестандартного оборудования по чертежам, разработанным в ОИВТ РАН: ЗАО «Опыт», ООО «Дом», ООО «Миксинг», ООО «Аналитприбор», ООО «Промпласт Индастри».

С учетом повышенных требований к вопросам безопасности при работе с водородом, определены специализированные монтажные организации, имеющие лицензии на производство установок с использованием водорода: ЗАО «Теплоэлектромонтаж» – изготовление и монтаж водородной рампы и монтаж дренажных систем водорода; ООО «СУ-94» – изготовление систем трубопроводов и монтаж арматуры установки; ООО «Энергетические системы и комплексы – монтаж



электротехнических средств и средств измерений и автоматики; ОАО «Институт электронных управляющих машин» – разработка и установка системы АСКУ.

3. Подготовлена площадка для развертывания опытно-промышленного производства ЭТК-100, оснащенная необходимой инженерной инфраструктурой. Площадка включает в себя: участки производства рам модулей; участок сборки модулей, оснащенный оборудованием для проверки качества выполненных работ; участок контрольной сборки установки ЭТК; участок упаковки и отгрузки.

#### **4. Разработка бизнес-плана производства ЭТК**

ОИВТ РАН совместно с рядом научно-исследовательских организаций разработана и реализована оригинальная технология окисления алюминия водой, позволяющая генерировать электрическую и тепловую энергию, а также водород и бемит. К настоящему моменту созданы и действует ряд опытных и опытно-промышленных установок, проведены необходимые научные и маркетинговые исследования, предложено и обосновано широкое использование алюминия в энергетических целях.

Продолжение внедрения технологии требует создания коммерческой компании, способной взять на себя производство и реализацию энерготехнологических комплексов для широкого круга потребителей.

В целях обоснования коммерческой и бюджетной эффективности производства энергоустановок, рассмотрения организационно-финансовых механизмов создания новой компании был разработан бизнес-план (*Приложение Г*).

Обоснование инвестиций было выполнено в соответствии с федеральным нормативным документом «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов», утвержденные Госстроем России, Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госкомпромом № ВК 477 от 21.06.1999г. В составе бизнес-плана были разработаны следующие разделы:

1. Резюме.
2. Описание проекта.
3. Анализ рынка.
4. Этапы жизненного цикла технологии.
5. План продаж.
6. Производственный план.
7. Ресурсное обеспечение.
8. Инвестиционный план.
9. Организационно-финансовая схема реализации проекта.
10. Влияние реализации инвестиционного проекта на окружающую среду.

11.Эффективность инвестиционного проекта и финансовые показатели.

12.Анализ рисков.

13.Анализ чувствительности.

Согласно бизнес-плану создается производственная компания в форме закрытого акционерного общества с преобладающим участием государства, взносом которого будет являться созданное ноу-хау, а также опытно-промышленная установка. Другим учредителем может стать частный стратегический инвестор, способный профинансировать создание производства.

В рассматриваемом периоде будет организовано сборочное производство из готовых узлов и агрегатов на площадке, располагаемой в Московском регионе. Планируемый объем капиталовложений составляет 205 млн. руб. Инвестиционный период рассчитывается на один год, со второго года компания приступит к производству и реализации энергокомплексов, а к пятому году реализации проекта выйдет на производственную мощность – 20 штук установок в год с объемом реализации – 640 млн. руб. в год.

В базовом варианте сборка установок будет происходить из узлов и агрегатов, поставляемых сторонними поставщиками. Впоследствии, после выхода производства на номинальную мощность, возможно принятие решения о развертывании собственного производства комплектующих.

В использовании энергоустановок заинтересованы организации производящие или потребляющие водород и бемит, а также энергопотребители, нуждающиеся в собственных источниках малой генерации.

На начальном этапе целевым сегментом рынка для реализации энергоустановок будут являться производители и поставщики водорода, а затем и бемита. Это связано с тем, что рынки данных продуктов являются сложившимися и динамично растущими, и их предложение по конкурентоспособным ценам будет востребовано как существующими, так и перспективными потребителями.

Реализация энергоустановок для чисто энергетических нужд, напротив, требует проведения широкой маркетинговой программы, поскольку предполагает внедрение энергогенерирующей технологии нового типа. Поэтому в стратегическом плане компании освоение данного сегмента отнесено на среднесрочную перспективу – с 5 года реализации инвестиционного проекта.

Экономические расчеты коммерческой и бюджетной эффективности, выполненные по утвержденной методике, свидетельствуют о достаточно высокой эффективности создаваемого предприятия. Инвестиционный проект со сроком окупаемости инвестиций 5 лет и внутренней нормой доходности 47 % может быть успешно профинансирован частным инвестором, высокие показатели бюджетной эффективности подчеркивают его целесообразность для государства.

Интегральные показатели эффективности проекта приведены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1. Интегральные показатели эффективности инвестиционного проекта создания производства энерготехнологических комплексов.

Показатель	Значение
<b>Объем финансирования проекта</b>	<b>205 млн. руб.</b>
Всего, в том числе:	
- вклад государства	150 млн. руб.
- вклад частного инвестора	55 млн. руб.
<b>Схема финансирования</b>	Собственный капитал
<b>Общие показатели проекта</b>	
Номинальный объем выпуска установок	20 шт./год
Выручка компании, достигаемая на 5 год реализации проекта.	640 млн. руб.
Длительность инвестиционной стадии	1 год
Горизонт расчета проекта	10 лет
Ставка дисконтирования	16%

<b>Показатели коммерческой эффективности</b>	
Период окупаемости	5 лет
IRR	47 %
NPV	291 млн. руб.
<b>Показатели бюджетной эффективности</b>	
Период окупаемости	6 лет
IRR	43%
NPV	196 млн. руб.

Рассматриваемый проект не относится к категории инвестиций с высокими рисками, поскольку наиболее сложная стадия его реализации – НИОКР – уже завершена, а развертывание производства не требует существенных капиталовложений. Однако, как и большинство венчурных проектов, инвестиционный проект производства энерготехнологических комплексов связан с маркетинговым риском, вероятностью потери ноу-хау, а также незапланированного повышения текущих издержек. В то же время, перечисленные риски являются в достаточной мере управляемыми, и для их снижения бизнес-планом предусматривается ряд мероприятий, таких как реализация активной маркетинговой политики, специальные программы кредитования, патентная, юридическая защита и др.

Выполненный в объеме бизнес-плана анализ чувствительности показал, что наиболее критическим событием для развития инвестиционного проекта может стать снижение объемов реализации энергоустановок вследствие потери ноу-хау и выхода конкурентов на рынок до расчетного срока. Поэтому для минимизации данного риска планируется сосредоточить усилия менеджмента компании на соответствующих мероприятиях, минимизирующих данный риск.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения работ по государственному контракту № 02.526.12.6010 при создании экологически чистых когенерационных энергоустановок для производства водорода и энергообеспечения автономных потребителей были выполнены следующие работы:

На первом этапе с целью разработки блока генерации водорода КЭУ-10, были разработаны ТЗ на узлы и агрегаты блока генерации водорода экспериментальной когенерационной энергоустановки КЭУ-10. Проведены экспериментальные исследования с целью обеспечения максимальной производительности по водороду. Разработана принципиальная технологическая схема. Проведен предварительный патентный поиск.

На втором этапе для изготовления блока генерации водорода была разработана конструкторская документация на узлы и агрегаты. Изготовлена автоматическая система контроля и управления (АСКУ) блока генерации водорода. Проведен монтаж и пуско-наладочные работы блока генерации водорода КЭУ-10.

На третьем этапе с целью изготовления КЭУ-10 были проведены испытания и доработка блока генерации водорода. Разработано ТЗ на систему КЭУ-10. Разработана техническая документация на КЭУ-10. Проведены монтаж и пуско-наладочные работы и испытания КЭУ-10. С целью создания опытного образца ЭТК было подготовлено техническое предложение на его разработку

На четвертом этапе проведены успешные испытания КЭУ-10. Разработан ряд технологий, реализуемых с помощью ЭТК-100. Разработан проект ЭТК-100, включающий испытательный стенд. Изготовлена АСКУ для ЭТК-100. Изготовлены узлы и агрегаты, проведены монтаж и пуско-наладочные работы испытательного стенда ЭТК-100.

На пятом этапе были проведены монтаж и пуско-наладочные работы опытного образца ЭТК-100. Разработаны программы и методики предварительных и приемочных испытаний. Проведены предварительные

испытания и согласованная в установленном порядке доработка опытного образца ЭТК, с целью повышения надежности его работы. Отработана технология исследования процессов генерации мощности в КЭУ-10 в масштабе электрической мощности 10-20 кВт. Проведены технико-экономические и маркетинговые исследования.

В ходе выполнения шестого этапа государственного контракта № 02.526.12.6010 были выполнены следующие работы:

1. Подготовлены и проведены приемочные испытания ЭТК в соответствии с Программой и методиками государственных приемочных испытаний. Достигнутые в ходе приемочных испытаний энерготехнологического комплекса ЭТК-100 основные технологические номинальные параметры назначения были полностью выполнены.

В целом приемочные испытания энерготехнологического комплекса ЭТК-100 подтвердили правильность проектных, технологических и конструкторских решений, принятых при разработке энерготехнологического комплекса ЭТК-100 в соответствии с ТЗ.

2. Проведен патентный поиск.

Проведенный патентный поиск в полной мере отразил ситуацию с правами на интеллектуальную собственность разработок в области генерирования водорода на основе окисления легких металлов водой. Разрабатываемые когенерационные энергоустановки на данный момент не имеют близких аналогов по назначению и принципу действия. Таким образом, созданные энергоустановки являются полностью оригинальными и обладают патентной чистотой.

3. Проведены мероприятия по организации опытно-промышленного производства ЭТК, в состав которых вошли конструкторская, технологическая и организационная подготовка производства к опытно-промышленному освоению новой продукции.

С этой целью на основе разработанной функциональной модели подготовки опытно-промышленного производства ЭТК-100 были проработаны связи с изготовителями нестандартных основных и вспомогательных агрегатов, комплектующих и запчастей, а также определены поставщики стандартного оборудования.

С учетом повышенных требований к вопросам безопасности при работе с водородом были согласованы основные организации-изготовители нестандартного оборудования по документации и чертежам, разработанным в ОИВТ РАН. Изготовителями-поставщиками ключевых блоков являются российские производители, зарекомендовавшие себя на поставках соответствующего оборудования. Были также определены специализированные монтажные организации, имеющие лицензии на монтаж и производство установок с использованием водорода.

Была подготовлена оснащенная необходимой инженерной инфраструктурой площадка для развертывания опытно-промышленного производства ЭТК-100, включающая в себя производственные и сборочные участки, а также проверку качества выполненных работ.

#### 4. Разработан бизнес-план производства ЭТК.

Согласно бизнес-плану внедрение технологии требует создания производственной компании в форме закрытого акционерного общества с преобладающим участием государства, взносом которого будет являться созданное ноу-хау, а также опытная установка. Другим учредителем может стать частный стратегический инвестор, способный профинансировать создание производства. В начальном периоде будет организовано сборочное производство из готовых узлов и агрегатов на площадке, располагаемой в Московском регионе. Инвестиционный период рассчитывается на один год, со второго года компания приступит к производству и реализации энерготехнологических комплексов.

Экономические расчеты коммерческой и бюджетной эффективности, выполненные по утвержденной методике, свидетельствуют о достаточно



высокой эффективности создаваемого предприятия. Инвестиционный проект со сроком окупаемости инвестиций 5 лет и внутренней нормой доходности 47 % может быть успешно профинансирован частным инвестором, высокие показатели бюджетной эффективности подчеркивают его целесообразность для государства.

На начальном этапе целевым сегментом рынка для реализации энергоустановок будут являться производители и поставщики водорода, а затем и бемита. Это связано с тем, что рынки данных продуктов являются сложившимися и динамично растущими, и их предложение по конкурентоспособным ценам будет востребовано как существующими, так и перспективными потребителями.

Реализация энергоустановок для чисто энергетических нужд требует проведения широкой маркетинговой программы, поскольку предполагает внедрение энергогенерирующей технологии нового типа. Поэтому в стратегическом плане компании освоение данного сегмента отнесено на среднесрочную перспективу – с 5 года реализации инвестиционного проекта.

В целом, работы по контракту выполнены на высоком научно-техническом уровне, в полном объеме, в установленные сроки, в строгом соответствии с Техническим заданием. Содержание работ соответствует Календарному плану выполнения работ. Отчет готов для представления в Министерство образования и науки Российской Федерации.

Достигнутые при выполнении работ по контракту положительные научно-технические результаты работы позволяют заключить, что контракт успешно выполнен и должен быть переведен в стадию коммерциализации.