

На правах рукописи

БАХОНИН АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТОВ ДЛЯ
МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Специальность

05.02.13 – машины, агрегаты и процессы
(машиностроение в нефтеперерабатывающей
промышленности)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

У ф а – 2003

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Кузеев Искандер Рустемович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Бакиев Тагир Ахметович;
кандидат технических наук
Шулаев Сергей Николаевич.

Ведущее предприятие – Закрытое акционерное общество
«Стерлитамакский нефтехимический завод».

Защита диссертации состоится 27 мая 2003 года в 15 – 30 на заседании диссертационного совета Д 212. 289. 05 Уфимского государственного нефтяного технического университета по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан 24 апреля 2003 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ибрагимов И.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Комплексную проблему энергосбережения и рационального использования природных ресурсов в нефтепереработке, нефтехимии и химической промышленности необходимо решать, переходя на технологии нового типа, создать новые классы аппаратов, использующие физические явления, которые открывают дополнительные возможности повышения энергообмена. Явление нагрева материалов в электромагнитном излучении СВЧ – диапазона позволяет использовать технологические среды с достаточной диэлектрической проницаемостью как накопители энергии СВЧ – поля для их саморазложения, катализа или передачи тепла. При этом трансформация электрической энергии в тепловую происходит за счет возбуждения СВЧ – полем колебаний молекул технологической среды – диэлектрика, что значительно интенсифицирует энергообмен, исключая теплоподвод через стенку и слои вещества.

Интенсификация энергообмена особенно актуальна для таких энергоемких процессов, как ректификация в нефтепереработке и нефтехимии, дегидрирование в нефтехимии, термическое разложение карбонатов в химической промышленности, на которых базируется получение углеводородных топлив, синтетических каучуков, кальцинированной соды.

Разработка теоретической базы и основ для проектирования промышленных массообменных аппаратов нового класса для таких процессов на основе явления СВЧ – нагрева создает возможности уменьшения энергопотребления, значительного повышения экологической безопасности и улучшения условий труда.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

На основе проведенных исследований разработать конструкции аппаратов для процессов испарения, дегидрирования углеводородов и обжига известняка, использующих электромагнитное излучение сверхвысокочастотного диапазона. Предложить методы согласования параметров СВЧ–излучения с физико-химическими характеристиками технологических сред, с материалом и

конфигурацией аппарата.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

1. Обоснованы конструктивные особенности аппаратов для испарения жидкости и реакционных гетерофазных процессов на основе обнаруженного эффекта увеличения скорости испарения жидкости в СВЧ – поле при помещении в обрабатываемую среду аккумулирующих излучение твердых веществ–термотрансформаторов, обеспечивающих подвод энергии с равномерным распределением ее в объеме.

2. Найдено, что наиболее эффективными термотрансформаторами СВЧ–излучения являются смеси оксидов металлов, обладающие высокой поглощающей способностью, большой теплоемкостью и высоким коэффициентом теплопередачи.

3. Предложен метод согласования конструктивных параметров массообменного аппарата с параметрами СВЧ–излучения (частота, тип волны) и физико-химическими характеристиками технологических сред (проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость, однородность), состоящий в достижении полного поглощения излучения при его равномерном распределении по объему массообменной зоны.

АВТОР ЗАЩИЩАЕТ:

1) методику подбора веществ – эффективных термотрансформаторов по их электрофизическим свойствам (проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость, однородность);

2) метод расчета конструктивных параметров реакционных устройств с термотрансформатором СВЧ – излучения;

3) Конструкции аппаратов для процессов испарения, дегидрирования углеводородов и обжига известняка с использованием термотрансформатора сверхвысокочастотного электромагнитного излучения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

1. Разработаны основы проектирования промышленных аппаратов для проведения технологических процессов с использованием термотрансформаторов электромагнитного излучения.

2. Аппараты с термотрансформаторами СВЧ – излучения для проведения гетерогенно–каталитических реакций и реакции разложения известняка характеризуются более высокой эффективностью, экологической безопасностью, чем известные промышленные, и использованы предприятиями ГУНПП «МАГРАТЕП» г. Фрязино Московской области и ФГУП «ВНИИ ТВЧ им. В.П. Вологодина» г. Санкт–Петербурга на стадии проектирования опытно–промышленных установок.

3. Разработанные методики обработки технологических сред и разложения карбоната кальция под действием СВЧ – излучения используются в учебном процессе в УГНТУ на кафедре «Общая химическая технология».

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные положения диссертационной работы докладывались на Всероссийской научно – практической конференции «Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание» (Пенза, 2001); межрегиональной молодежной научной конференции «Севергеозкотех – 2001» (Ухта, 2001); межрегиональной молодежной научной конференции «Севергеозкотех – 2002» (Ухта, 2002).

ПУБЛИКАЦИИ

По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 патента РФ, 3 статьи в периодической печати, 5 тезисов докладов.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводов, содержит 143 страницы машинописного текста, в том числе 48 рисунков, 25 таблиц, список использованных источников из 109 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, ее научная и практическая значимость, сформулированы основные цели и задачи исследований, основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе дан краткий анализ конструктивных особенностей традиционного массообменного оборудования, теплообменных аппаратов для нагрева и испарения жидких технологических сред. Рассмотрены аппараты для проведения реакционных гетерогенно-каталитических и некаталитических процессов. Отмечены основные недостатки, присущие рассмотренным типам оборудования и осуществляемым в них процессам, в частности, недостаточно эффективный подвод энергии для проведения процесса, низкий КПД реакционных устройств.

В качестве альтернативы приведены конструкции нетрадиционных для промышленности аппаратов, работа которых основана на применении физических методов воздействия на технологические среды, например, электродуговые плазмотроны, плазмохимические реакторы. Особое внимание при этом уделено информации о применении нагрева материалов в электромагнитном сверхвысокочастотном (СВЧ) поле для интенсификации технологических процессов. Описан механизм СВЧ – нагрева веществ, показаны основные электрофизические характеристики материалов, влияющие на скорость их нагрева.

Из литературного обзора сделаны следующие заключения:

1. Наиболее эффективно энергию СВЧ–поля поглощают вещества – диэлектрики (полупроводники) в твердом агрегатном состоянии. При проведении химико-технологического процесса в СВЧ–поле с использованием твердых веществ ими будет вноситься в процесс основное количество тепловой энергии.

2. В отличие от традиционных способов нагрева, из–за проникновения СВЧ – волны в глубь объекта происходит преобразование СВЧ–энергии не на поверхности, а в объеме, и поэтому можно добиться более интенсивного нарастания температуры при большей равномерности нагрева.

3. Отсутствие теплоносителя обеспечивает беспримесность процесса и безынерционность регулирования, а изменяя частоту, можно добиваться нагрева различных компонентов среды.

4. Основным недостатком имеющихся реакционных аппаратов этого типа является небольшой температурный диапазон применения, до 200⁰ С.

5. Поскольку электромагнитное излучение СВЧ–диапазона доводится до реагирующих веществ через оболочку реактора, реакторы изготавливаются из материалов, проницаемых СВЧ–излучением.

6. Рассмотренные в обзоре реакционные аппараты пока можно использовать только в лабораторных исследованиях.

7. Следует использовать ограничивающие объем реактора металлические стенки из термостойкого металла как резонатор СВЧ – генератора, что упрощает конструкцию, обеспечивая надежность и безопасность, требующуюся в условиях промышленной эксплуатации.

8. Значительный потенциал для осуществления неравновесных процессов с технологическими средами заложен в возможности концентрирования энергии СВЧ – поля в массе твердого вещества без ограничения верхнего температурного предела. Перспективно аккумулировать и передавать тепло через твердую технологическую среду, участвующую в процессе как в виде инертной, так и в виде реакционной среды, в первую очередь, это значимо для высокотемпературных эндотермических процессов.

9. СВЧ – излучение довольно широко используется для нагрева ряда технологических сред, а в последние годы и для проведения каталитических превращений, однако широкий ряд каталитических процессов, особенно протекающих при больших температурах, остается не исследованным на предмет создания реакторов с таким подводом энергии.

Во второй главе приводятся результаты экспериментальных исследований по интенсификации технологических процессов за счет применения СВЧ–излучения с использованием материалов, преобразующих энергию СВЧ–поля в тепловую. В качестве материалов, трансформирующих СВЧ–энергию в тепловую, использовались как среды и компоненты технологического процесса, так и дополнительные инертные включения.

В нефтепереработке и нефтехимии основные нефтяные фракции подвергают разделению, очистке, каталитической переработке, используя различные аппараты и реакционные устройства, в том числе многотоннажные адиабатические реакторы, требующие значительных энергозатрат на нагрев сырья

и разбавителя – теплоносителя (водяного пара). Преимущество электродинамического реактора, использующего азот вместо водяного пара в качестве разбавителя, понижающего парциальное давление углеводородов, избавит от необходимости отделения влаги и увеличит экологичность процессов. Например, в традиционной схеме производства бензол–толуольной фракции и стирола возможна замена при дегидрировании этилбензола реактора адиабатического типа на реактор с использованием СВЧ – излучения (рисунок 1).

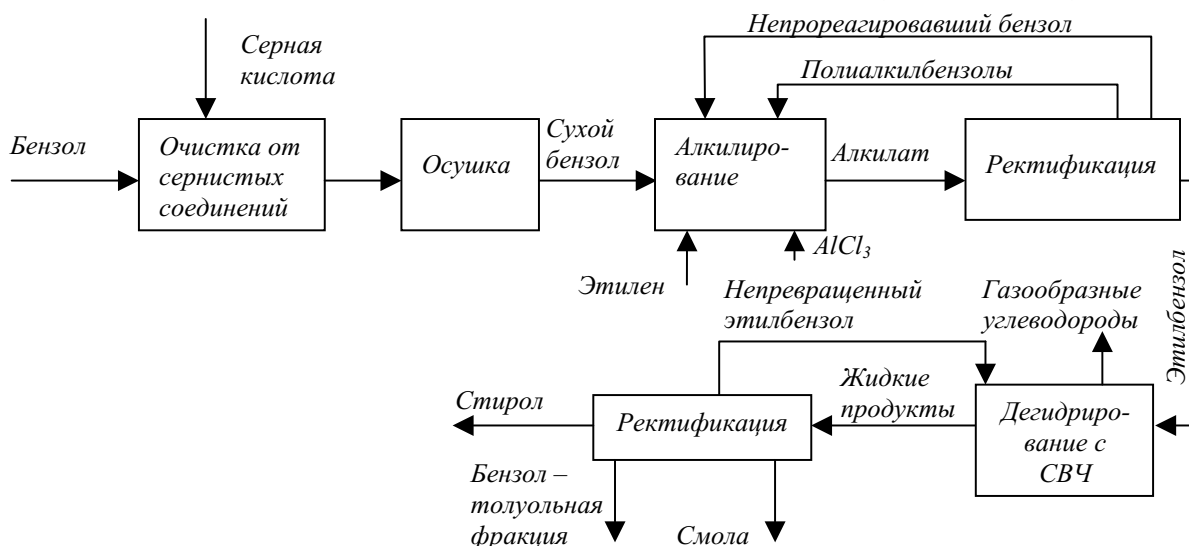


Рисунок 1 – Поточная схема производства бензол-толуольной фракции и стирола дегидрированием этилбензола

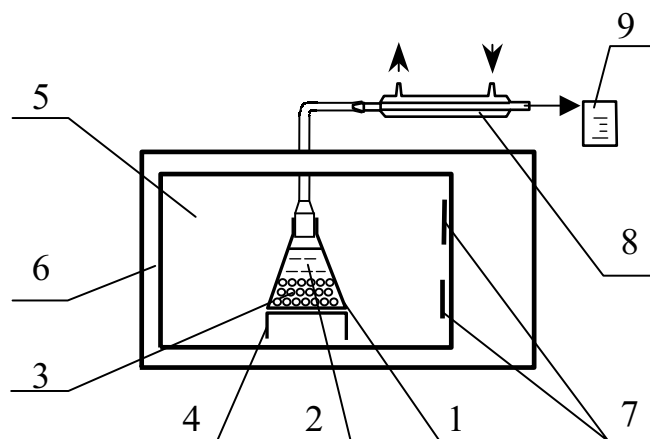
Исследовалось влияние СВЧ – излучения на нерасходуемые в процессе среды, изучена кинетика нагрева технологических сред как объекта воздействия СВЧ – излучения. Как образец широко используемой в промышленности технологической среды использовалась дистиллированная вода.

Показана интенсификация процесса испарения при введении в жидкость твердых веществ неметаллов с различной пористостью (органического происхождения - частиц дерева и неорганического – частиц поливинилхлоридной смолы). Помимо использованных в данном эксперименте термотрансформаторов возможно применение и других веществ.

Изучалось влияние на процесс нагрева и испарения жидкостей в СВЧ–поле металлов в восстановленной и оксидной формах. На примерах висмута, свинца, алюминия, цинка показано, что введение такого термотрансформирующего вещества, как металл, не увеличивает скорости процесса испарения.

Исследование влияния на процесс испарения в СВЧ-поле оксидов металлов проводилось на примере смеси оксидов металлов: Cr_2O_3 – 48,5%; Fe_2O_3 – 24,85%; ZnO – 26,00%; SiO_2 – 0,50%; Co_2O_3 – 0,15%.

Эксперименты проводили на лабораторной установке, представленной на рисунке 2. Влияние на процесс испарения воды оксидов металлов как термотрансформаторов представлено на рисунке 3. Из результатов эксперимента видно, что при введении в объем испаряемой воды термотрансформатора – смеси оксидов металлов – наблюдается наибольший эффект интенсификации процесса испарения.



1-стеклянная колба, 2-исследуемая среда, 3-термотрансформатор, 4- подставка, 5-резонатор, 6- микроволновая печь, 7-волновод, 8-холодильник, 9 -приемный стакан конденсата

Рисунок 2 – Схема лабораторной СВЧ – установки для испарения жидкой среды в присутствии термотрансформатора

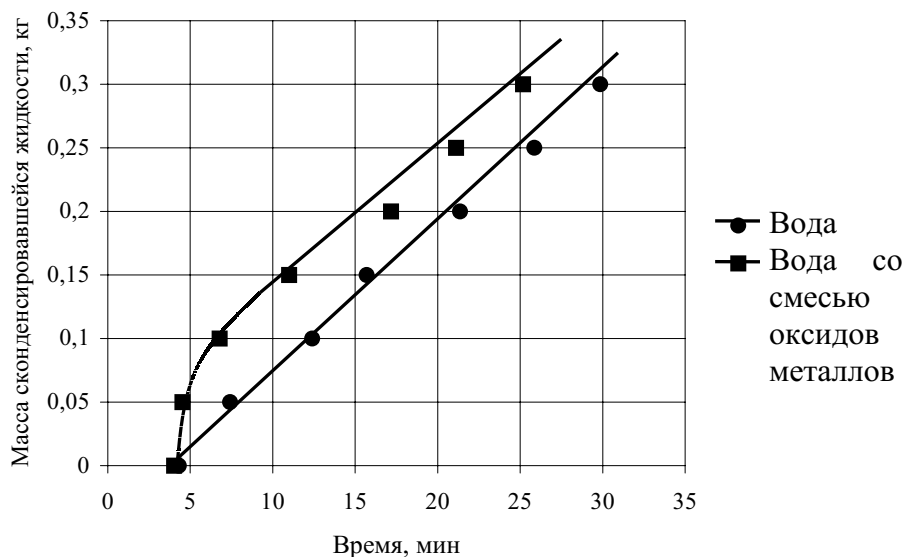


Рисунок 3 – Экспериментальная зависимость влияния на испарение присутствия смеси оксидов металлов

Исследовалось влияние на процесс испарения массы термотрансформатора. Для этого при испарении жидкости использовали термотрансформатор с различной массой при фиксированной мощности воздействия СВЧ–излучения (рисунок 4). В качестве термотрансформатора использовалась смесь оксидов металлов приведенного выше состава.

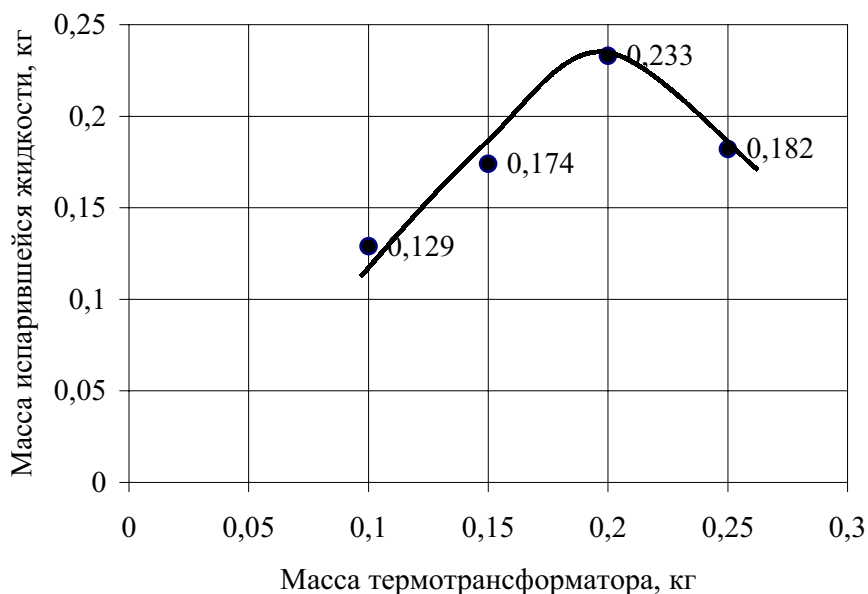


Рисунок 4 – Зависимость массы испарившейся жидкости от массы загружаемого термотрансформатора (длительность воздействия СВЧ излучения 16 минут)

Как видно из характера зависимости, увеличение массы трансформатора приводит к росту скорости процесса до некоторого значения и последующей ее убыли при увеличении массы термотрансформатора. Наибольшая скорость испарения получена при массе термотрансформатора, составляющей 44,4% от массы нагреваемой жидкости.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность использования различных твердых сред для интенсификации технологических процессов введением в исследуемую систему веществ, эффективно преобразующих энергию СВЧ–поля в тепловую, необходимую для проведения процесса.

Результаты исследования нагрева жидкости с помощью термотрансформаторов в СВЧ–поле могут служить для разработки

энергосберегающего и экологически безопасного способа подготовки паровой фазы. На рисунке 5 представлена принципиальная схема лабораторной установки по подготовке паровой фазы.

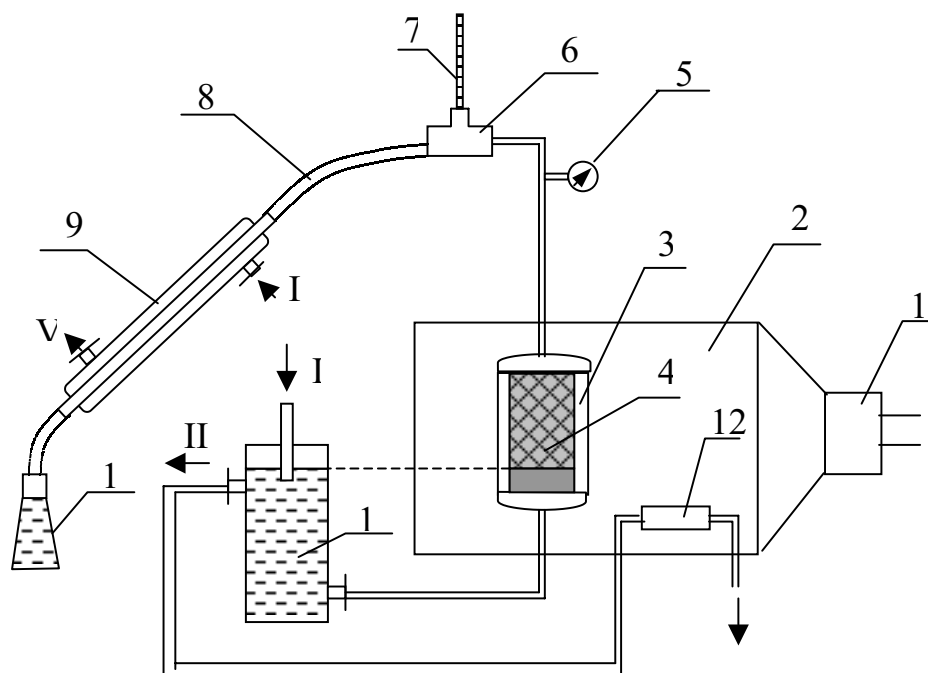


Рисунок 5 – Принципиальная схема лабораторной установки по подготовке паровой фазы

Показана принципиальная возможность протекания процесса подготовки паровой фазы с температурой более 300°C при атмосферном давлении и определены оптимальные условия ведения процесса, получены данные, характеризующие зависимость температуры пара от высоты слоя термотрансформатора, загружаемого в испаритель.

Кроме простого испарения исследованы гетерогенно-каталитические превращения – дегидрирование бутенов в бутадиен (рисунок 6) – под действием СВЧ– излучения в электромагнитном поле с использованием катализатора К-16У (таблица). Процесс исследовался как характерный, традиционно использующий реактор с теплоносителем–разбавителем водяным паром с целью возможной замены на электродинамический реактор.

Выход целевого продукта – бутадиена – соответствует промышленному уровню при использовании в качестве разбавителя азота вместо водяного пара. Как это следует из расчета равновесных глубин дегидрирования, оптимальным является разбавление бутенов азотом в соотношении 1:10. Последнее позволяет

предложить конструкцию изотермического электродинамического реактора, со значительно меньшим теплоуносом, без необходимости отделения от влаги превращенного сырья.

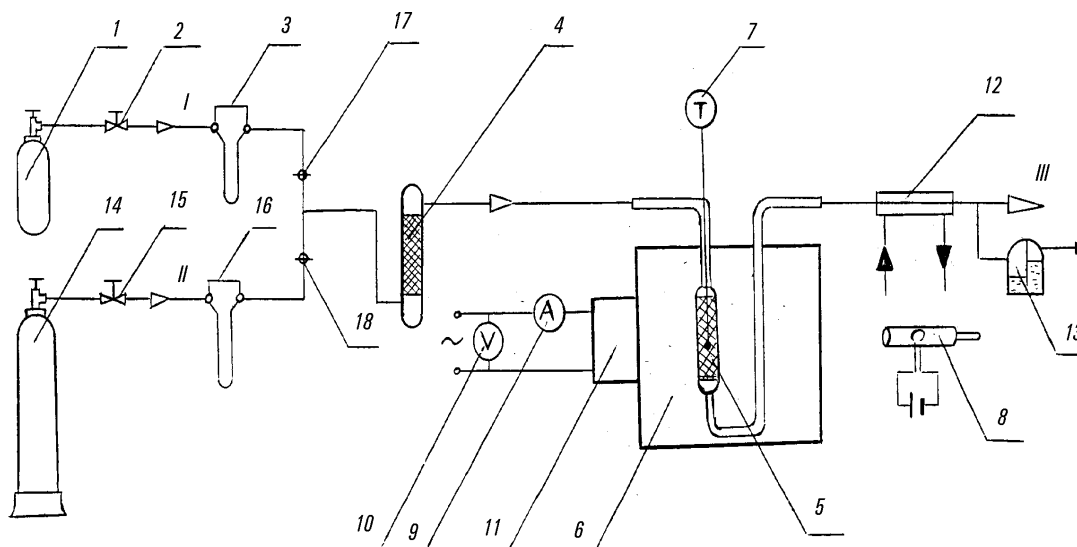


Рисунок 6 – Схема лабораторной СВЧ–установки дегидрирования

Дегидрирование бутенов на катализаторе К-16У

Тем- пера- тура, °С	Раз- бавле- ние, моль	Объ- емная ско- рость, ч ⁻¹	Состав контактного газа, % мас.								
			СО ₂ диок- сид угле- рода	Н ₂ водо- род	СН ₄ метан	С ₂ Н ₄ эти- лен	С ₃ Н ₆ про- пилен	С ₄ Н ₈ бутен α+γ	С ₄ Н ₈ транс- бутен	С ₄ Н ₈ цис- бутен	С ₄ Н ₆ бута- диен
600	1:5,9	200	7,08	0,78	0,5	2,72	1,04	23,11	31,00	17,53	16,24
	1:5,3	600	6,73	1,01	0,3	1,88	0,93	22,67	29,44	18,86	18,18
	1:5,5	800	6,52	1,12	0,27	1,34	0,67	20,21	29,34	19,82	20,71
	1:10,7	200	6,81	0,97	0,4	1,51	0,75	23,19	31,63	17,42	17,32
	1:9,8	600	6,34	1,18	0,3	1,23	2,01	21,36	27,14	18,47	21,97
	1:10,2	800	6,28	1,20	0,25	2,06	1,15	20,79	26,96	17,93	23,38
	1:19,9	200	6,74	0,90	0,31	1,99	0,59	23,65	30,33	18,47	17,02
	1:20,4	600	6,12	1,19	0,29	1,72	1,13	23,49	37,23	16,59	22,24
	1:20,2	800	6,15	1,29	0,30	1,81	0,40	21,16	27,70	16,54	24,65

Исследован нагрев расходуемой в химико-технологическом процессе среды, одновременно преобразующей энергию СВЧ–поля в тепловую на примере процесса обжига известняка.

Результаты опытов приведены в виде зависимости конверсии сырья от температуры и времени, конверсия карбоната кальция (СаСО₃) при осуществлении

процесса в электромагнитном поле составила 92% (при 950°C) против 75% при традиционном способе, когда температура составляла 1000–1100°C.

Схема лабораторной СВЧ установки обжига известняка приведена на рисунке 7.

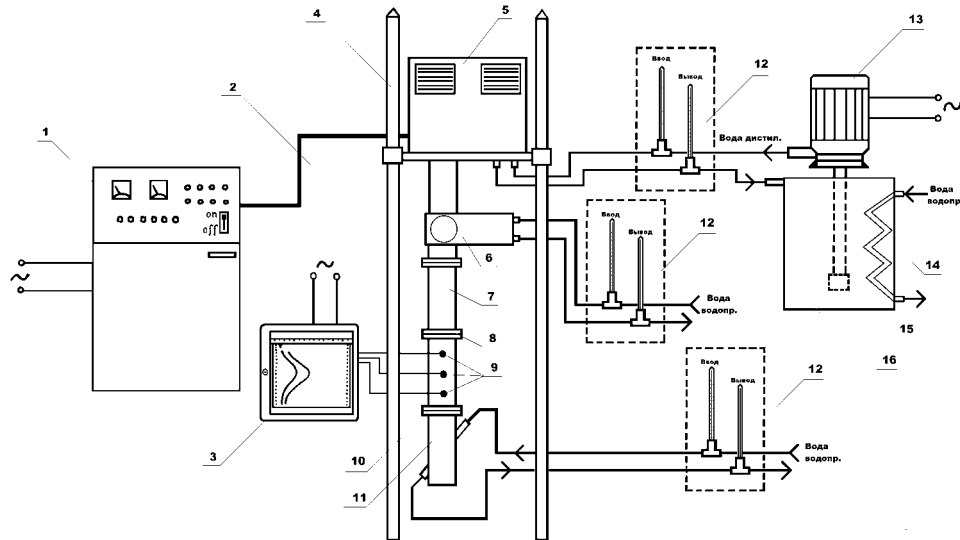


Рисунок 7– Лабораторная установка по разложению карбоната кальция

В нефтеперерабатывающей промышленности для производства высококачественных пластичных смазок, одного из самых массовых видов продукции, требуются кальциевые мыла, качество которых, в свою очередь, в значительной степени зависит от применяемой окиси кальция. Будучи в основном продуктом крупнотоннажных известково – цементных производств, зачастую окись кальция по качеству не удовлетворяет запросам нефтепереработчиков.

Предлагаемая конструкция аппарата для получения окиси кальция позволяет наладить малотоннажные, миниатюрные, малоэнергоёмкие, безопасные узлы по получению окиси кальция для кальциевых мыл непосредственно на производствах пластичных смазок, тем самым снизить их себестоимость и повысить качество.

Определялась важнейшая электрофизическая характеристика – глубина проникновения СВЧ–излучения в исследуемые среды, приведены методика и результаты экспериментов по ее определению.

Получены исходные данные для разработки методик расчета массообменных аппаратов исследованных технологических процессов под действием СВЧ–излучения.

В третьей главе приведен метод расчета конструктивных параметров СВЧ–реакторов для процессов разложения извести, дегидрирования бутенов и нагрева жидких сред. Метод заключается в расчете количества теплоты, которое необходимо передать в единицу времени объему вещества в реакторе, установлении корреляционных значений мощности поля и высоты реактора из эмпирически найденных характеристик поглощения СВЧ – излучения в обрабатываемом твердом веществе.

Так же предложена методика согласования основных параметров аппарата и физических свойств термотрансформирующего энергию вещества с вводимым в рабочую зону электромагнитным излучением фиксированной частоты. Расчет корпуса аппарата производится как резонатора электромагнитного излучения. Для этого используется понятие критической длины волны СВЧ–излучения $\lambda_{кр}$, определяемой диаметром аппарата, которая должна значительно превышать длину волны, генерируемую источником электромагнитного излучения. Для цилиндрических аппаратов

$$\lambda_{кр} \approx 1,705 \cdot D. \quad (1)$$

Следовательно, диаметр должен выбираться из условия:

$$\lambda < \lambda_{кр}, \quad D > \frac{\lambda}{1,705}. \quad (2)$$

Высоту рабочей зоны следует выбирать в зависимости от высоты слоя среды, трансформирующей основное необходимое для проведения процесса количество электромагнитной энергии в тепловую.

При проведении гетерогенно – каталитических процессов в роли термотрансформатора выступает катализатор, высота слоя которого определяется глубиной проникновения электромагнитных волн в вещество катализатора:

$$\delta_E \approx \frac{\lambda}{\pi \sqrt{2 \varepsilon' (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} - 1)}}, \quad (3)$$

где δ_E – расстояние, на котором амплитуда вектора напряженности электрического поля электромагнитной волны уменьшается в e раз ($e \approx 2,7$ – основание натурального логарифма);

ε' – действительная часть относительной диэлектрической

проницаемости вещества катализатора;

$\operatorname{tg}\delta$ – тангенс угла потерь.

Слой катализатора должен максимально полно поглотить СВЧ–энергию, обеспечивая высокую эффективность процесса. Это учитывается в расчете следующим образом.

Представим высоту слоя катализатора в виде выражения $h = z \cdot \delta_E$, тогда амплитуда колебаний вектора E на выходе из слоя катализатора будет равна

$$E = \frac{E_0}{e^z}, \quad (4)$$

где E_0 – амплитуда вектора E на входе.

Принимая, что $E/E_0 < 0,01$, получим $Z > \ln 100 = 4,6$. Таким образом, для полного использования энергии СВЧ–излучения высота слоя катализатора должна удовлетворять неравенству

$$h \geq 4,6 \delta_E. \quad (5)$$

Мощность СВЧ–генератора выбирается исходя из затрат энергии на эндотермическую термokatалитическую реакцию.

Данная методика предлагается для расчета основных технологических параметров (диаметр, высота рабочей зоны) аппаратов с использованием СВЧ – излучения.

Четвертая глава посвящена разработке конструкций аппаратов с использованием СВЧ – излучения.

Разработаны конструкции электромагнитных сверхвысокочастотных устройств для проведения гетерофазной реакции дегидрирования углеводородов, обжига известняка, испарения жидких сред и пароподготовки. Приведено сравнение эффективности традиционных и разрабатываемых аппаратов.

На рисунке 8 показан СВЧ–реактор для проведения эндотермической гетерогенно-каталитической реакции дегидрирования бутенов в бутадиен.

В узел ввода электромагнитного излучения устанавливается мембрана, герметизирующая реакционную зону, проницаемая СВЧ–излучением. Для

изготовления мембраны могут быть использованы различные диэлектрические материалы: фторопласт, кварцевое стекло, керамика и др.

Узел ввода сырья снабжается четырьмя штуцерами для тангенциального ввода сырья в реакционную зону максимально приближенно к мембране с целью охлаждения мембраны до допустимой рабочей температуры материала мембраны и, что очень важно, для предотвращения металлизации мембраны возможной возгонкой металла из материала катализатора.

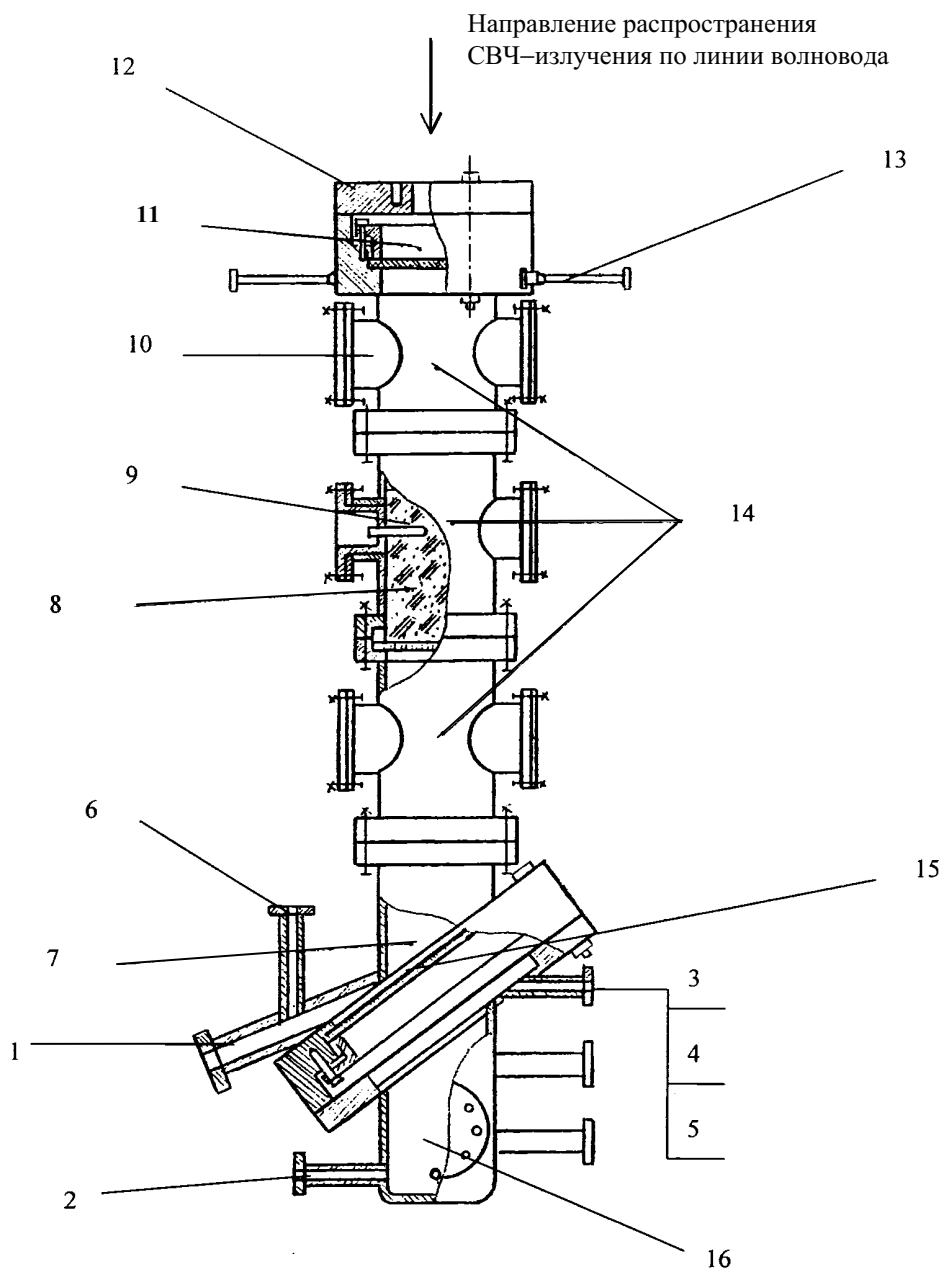


Рисунок 8 – Реактор для проведения эндотермических процессов

Реакционный узел – это цилиндр с распределительными решетками,

заполненный катализатором. Данный узел, как и реактор в целом, проектировался с учетом возможности использования элементов, широко применяемых в промышленных аппаратах. Например, блоки, из которых состоит реакционный узел, соединены между собой посредством фланцевого соединения, в качестве уплотнения используются алюминиевые прокладки. Установка металлических прокладок между соединительными элементами реактора обязательна, т.к. это условие локализации электромагнитного излучения в полости реактора. Распределительные решетки, на которые засыпается катализатор, предлагается изготавливать из жаропрочной керамики, достаточно проницаемой электромагнитным излучением.

Узел вывода состоит из двух частей, соединенных между собой косым фланцем, угол наклона к горизонтали 37° . Верхняя часть служит для отвода из реактора контактного газа через штуцер 6, а также позволяет осуществлять сбор и выгрузку просыпавшихся из реакционной зоны частиц катализатора. Сбору частиц в штуцере 1 способствует поток контактного газа и наклонная поверхность согласующей камеры, предназначенной для поглощения остаточного электромагнитного излучения. В косом фланце параллельно его поверхности соединения устанавливается крышка согласующей камеры, проницаемой воздействию СВЧ-излучения. Крышка изготавливается из такого же материала, как и мембрана.

В качестве согласующей нагрузки используется заполняющая камеру вода. Ввод и вывод воды производится через штуцеры 2, 3, 4 и 5. Остаточное электромагнитное излучение, в случае неполного поглощения электромагнитной энергии веществом катализатора, проникает сквозь мембрану согласующей камеры и поглощается в массе воды.

Материал для изготовления СВЧ-реактора наряду с традиционными должен удовлетворять и дополнительному требованию – обладать достаточной электропроводностью, что обеспечивает малые потери электромагнитной энергии при ее распространении по высоте реактора.

В частности, требуемую электропроводность обеспечивает легированная сталь 08X18H10T с малым содержанием углерода. Данная сталь имеет широкий

температурный диапазон применения (от -263 до $+610^{\circ}\text{C}$), устойчива к воздействию агрессивных сред.

Разработано также реакционное устройство для проведения некаталитических химических процессов – сверхвысокочастотная известково–обжигательная печь (рисунок 9), которая представляет собой вертикальный цилиндрический металлический сосуд, состоящий из трех камер: верхней, средней и нижней.

I–известняк; II–газ межконусного пространства; III–печной газ; IV–горячий воздух; V–известь; VI–воздух холодный; 1–загрузочный механизм; 2–камера подогрева; 3–камера обжига; 4–камера охлаждения; 5–волновод для электромагнитной энергии; 6–валковый питатель; 7–улиты печи

Рисунок 9 – СВЧ–реактор для обжига известняка

Верхняя камера предназначена для предварительного нагрева известняка

(высота камеры 4 м и диаметр 3 м), средняя—служит для дальнейшего нагрева известняка и его диссоциации. Высота этой части 3 м, диаметр реакционного пространства 4,5 м, полезный объем 47,7 м³. Нижняя часть с высотой 5 м также имеет диаметр 4,5 м и предназначена для охлаждения извести, выгружаемой из реакционной зоны.

В реакторе используется СВЧ – генератор с мощностью, достаточной для нагрева сырья до температуры 950°С. Резонатором для электромагнитной энергии является корпус реактора, футерованный снаружи шамотным кирпичом для снижения теплотерь. Для охлаждения самого СВЧ – генератора используется вода.

Кусковой материал, двигаясь с верха реактора вниз, проходит последовательно камеру предварительного нагрева, камеру обжига и охлаждения. Разложение (обжиг) известняка происходит при температуре около 950°С, в камере охлаждения происходит теплообмен между раскаленными кусками извести и движущимся навстречу воздухом. Загрузка сырья в реактор и выгрузка продукта в камеру охлаждения осуществляется валковыми питателями.

Разработано устройство для испарения жидких сред в СВЧ – поле в присутствии термотрансформатора.

Устройство для испарения жидких сред в СВЧ – поле разрабатывалось с учетом возможности применения его в ректификации смесей нефтепродуктов в качестве выносного(а) или встроенного (б) кипятильника–испарителя (рисунок 10).

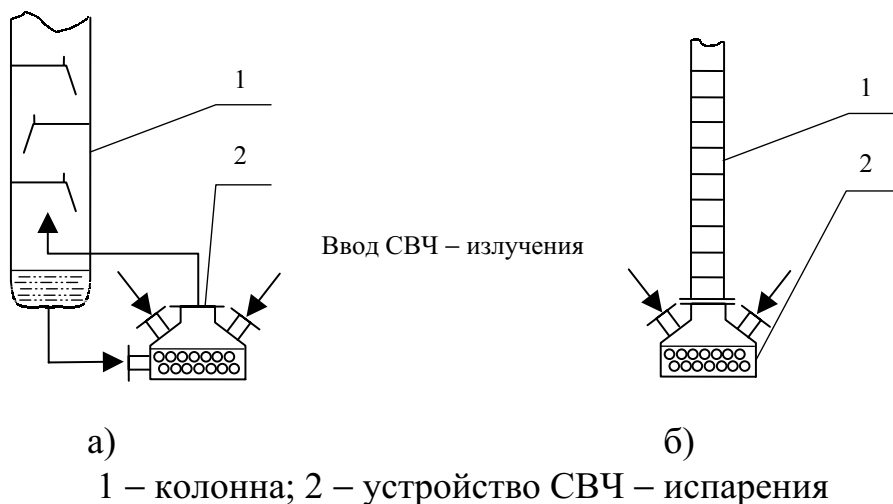


Рисунок 10 – Варианты применения устройства для испарения жидких сред в СВЧ – поле в схемах нефтепереработки

На рисунке 11 представлена схема СВЧ–испарителя. В цилиндрической рабочей камере 1 устройства для испарения жидких сред располагается вещество, преобразующее энергию электромагнитного поля в тепловую – 2. Штуцер 3 предназначен для непрерывной подачи технологической среды 4. В конической крышке 5 рабочей камеры монтируются: люк 6 для загрузки и выгрузки вещества, преобразующего энергию электромагнитного поля в тепловую; волноводы 7 для подвода СВЧ – энергии под углом, обеспечивающим перекрытие поверхности нагрева; штуцер 8 в конической вершине крышки.

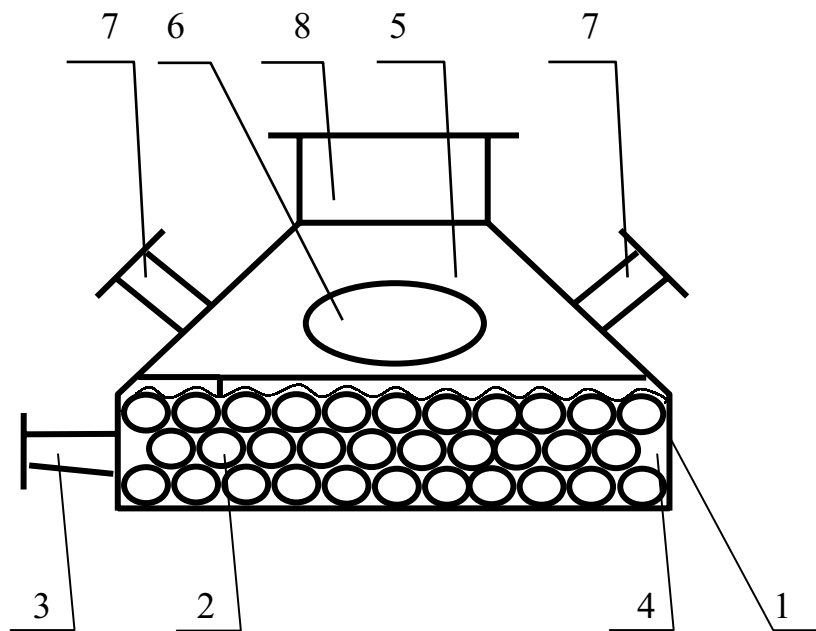


Рисунок 11 – Устройство для испарения жидких сред нефтеперерабатывающей промышленности

Усовершенствование конструкции испарителя, рассмотренного выше, позволило создать СВЧ – установку для получения перегретого пара при атмосферном давлении. Разработанная установка (рисунок 12) состоит из трёх основных частей: генератора электромагнитного излучения 5, волновода 8, направляющего это излучение, и парогенератора 1.

Генератор СВЧ – излучения состоит из магнетрона 6 и блока питания 7. Волновод представляет собой трубу диаметром 300 мм, изготавливаемую из меди, крепится к штуцеру 14 фланцевым соединением. Волновод закрыт фторопластовой мембраной 11, проницаемой электромагнитному излучению и препятствующей попаданию паровой фазы в СВЧ – генератор.

Парогенератор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, изготавливаемый из двухслойной стали марки 20К+Х18Н10Т, заполненный термотрансформатором 10 (отработанным катализатором К-24И, К-16У), загружаемым на распределительную решётку 4. Парогенератор снабжён штуцерами для ввода воды 12, вывода паровой фазы 13, ввода электромагнитного излучения 14, штуцером для слива осадка 15 и штуцером ввода инертного газа 16.

В СВЧ – парогенератор непрерывно подаётся вода, уровень которой поддерживается постоянным, а расход равен производительности по пару. Высота слоя воды меньше высоты слоя вещества – термотрансформатора, поэтому образующийся в слое жидкости пар дополнительно перегревается в незатопленном верхнем слое термотрансформатора.

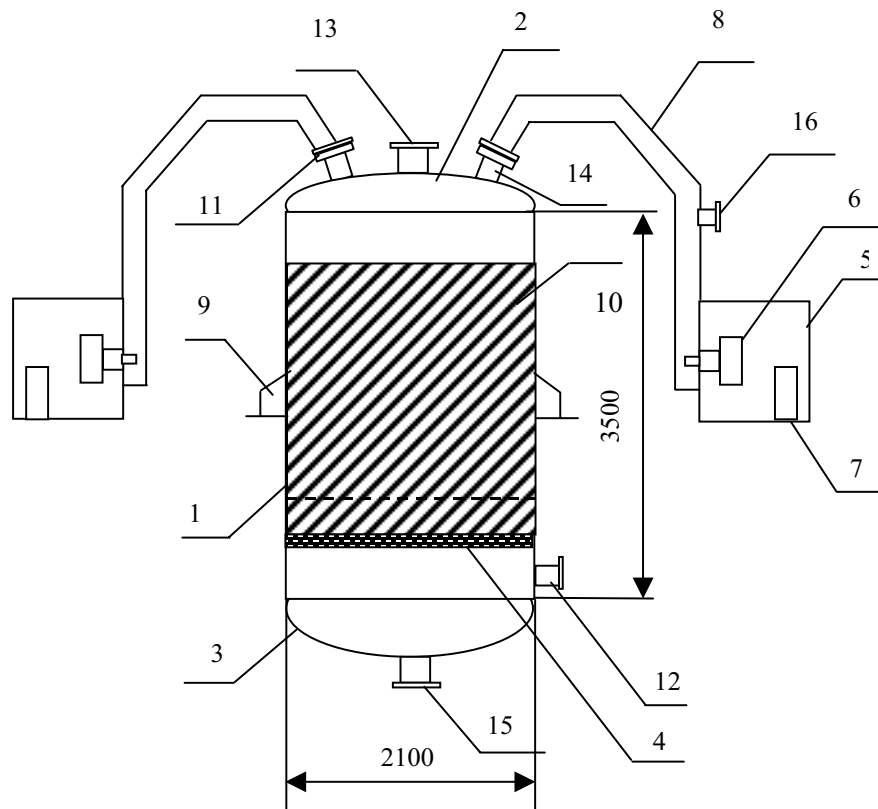


Рисунок 12 – Схема СВЧ – установки по получению паровой фазы воды

Варьируя высоту слоя жидкости, можно менять температуру получаемого в этом неравновесном процессе перегретого пара при одной и той же мощности СВЧ – генератора.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны конструкции аппаратов для испарения жидкости и реакционных гетерофазных процессов на основе обнаруженного эффекта увеличения скорости испарения жидкости в СВЧ – поле при помещении в нее твердых частиц – диэлектриков и возможности равномерного подвода энергии в реакционную зону с твердыми термотрансформаторами.

2. Разработан метод согласования параметров СВЧ–излучения (частота, тип волны) с физико-химическими характеристиками технологических сред (проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость, однородность) и конструктивными параметрами аппарата, состоящий в достижении полного поглощения излучения при его равномерном распределении по объему реакционной зоны.

3. Диэлектрики, улучшающие теплообмен в СВЧ–поле, предложено называть термотрансформаторами. При использовании в качестве диэлектриков веществ органического происхождения отсутствует заметное влияние материала твердой фазы на скорость испарения; частицы дерева и частицы пластмассы увеличивают скорость испарения одинаково.

4. Экспериментально определены наиболее эффективные термотрансформаторы СВЧ–излучения, состоящие из смеси оксидов металлов, обладающие высокой поглощающей способностью, большой теплоемкостью и высоким коэффициентом теплопередачи, при этом термотрансформаторами могут быть и полимерные органические структуры, инертные к поглощающей энергии реакционной среде. В частности, лучшими термотрансформаторами при испарении воды по сравнению с частицами дерева, пластмассы, металлов, глинозема, цеолита, керамзита оказались смеси оксидов металлов (например, Cr_2O_3 – 48,5%; Fe_2O_3 – 24,85%; ZnO – 26,00%; SiO_2 – 0,50%; Co_2O_3 – 0,15%). Смеси оксидов металлов, традиционно используемые как эффективные катализаторы реакций дегидрирования углеводородов в промышленном масштабе (катализаторы К-16У, ИП), дают увеличение скорости испарения воды в СВЧ – поле на 40% по сравнению с испарением без термотрансформатора.

5. В газовой углеводородной среде (углеводороды $C_4 - C_5$) термотрансформатор (оксидный катализатор) аккумулирует энергию СВЧ-поля, достаточную для превращения углеводородов (дегидрирования) без использования теплоносителя (водяного пара). Это позволяет создать реакционный аппарат (электродинамический реактор) с характеристиками, лучшими, чем у традиционных промышленных реакторов дегидрирования.

6. Карбонатная порода (известняк) аккумулирует СВЧ – энергию и диссоциирует на окись кальция и углекислый газ без использования теплоносителя (горения кокса). Диссоциирующий в СВЧ – поле термотрансформатор позволяет создать новый (электродинамический) реакционный аппарат с характеристиками, лучшими, чем у традиционной шахтной печи.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Бахонин А.В., Даминев Р.Р., Бахонина Е.И., Кадыров Р.Р. Об одном из направлений обеспечения экологической безопасности // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: Сб. матер. Всерос. науч.–практ. конф. – Пенза, 2001. – С. 62 – 63.

2. Бахонин А.В., Кузеев И.Р., Бикбулатов И.Х., Шулаев Н.С., Даминев Р.Р. Энергосберегающий способ испарения жидких сред // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: Сб. матер. Всерос. науч.–практ. конф. – Пенза, 2001. – С. 78 – 79.

3. Бахонин А.В., Даминев Р.Р. Кадыров Р.Р., Погорелов А.Ю. Эффективный экологически безопасный способ получения пара // Севергеоэкотех – 2001: Межрегион. молод. науч. конф.: Тез. докл. – Ухта, 2001. – С. 214– 215.

4. Лабораторный практикум по курсу «Физические методы воздействия на технологические среды» / Бахонин А.В., Даминев Р.Р., Бакиев А.Ю., Шарипова Э.Б. – Уфа: Изд – во УГНТУ, 2001. – 32 с.

5. Бахонин А.В., Бикбулатов И.Х., Даминев Р.Р., Кузеев И.Р., Шулаев Н.С., Бахонина Е.И., Бухаров В.Р. Применение электромагнитного

сверхвысокочастотного излучения для каталитического дегидрирования углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. – №2. – С.19–23.

6. Бахонин А.В., Бикбулатов И.Х., Кадыров Р.Р., Каяшев А.И., Шулаев Н.С. Элементы повышения экологической безопасности производства извести (метод, устройство и специальное здание) //Инженерная экология. – М.: Инженерная экология, 2002. – №2. – С.24–30.

7. Бахонин А.В., Бакиев А.Ю., Даминев Р.Р. Преимущества получения диоксида углерода диссоциацией карбоната кальция под действием СВЧ – излучения // Севергеоэкотех – 2002: Межрегион. молод. науч. конф.: Тез. докл. – Ухта, 2002. – С. 212-213.

8. Бахонин А.В., Кузеев И.Р., Бикбулатов И.Х., Даминев Р.Р., Рахманкулов Д.Л., Шулаев Н.С., Бахонина Е.И. Реактор для проведения эндотермических процессов под действием СВЧ–излучения // Башкирский химический журнал. – Уфа: ГИИТЛ «Реактив», 2002. – Т. 9. –№1. – С. 57–62.

9. Патент № 2200606 РФ. Способ испарения жидких сред / Бахонин А.В., Бикбулатов И.Х., Даминев Р.Р., Кузеев И.Р., Шулаев Н.С. – Заявл. 21.12.2000; Оpubл. 20.03.2003, Бюл. № 8 // Изобретения. Полезные модели. – 2003. – № 8.

10. Патент № 2200606 РФ. Устройство для испарения жидких сред /Бахонин А.В., Бикбулатов И.Х., Даминев Р.Р., Кузеев И.Р., Шулаев Н.С. – Заявл. 21.12.2000; Оpubл. 20.03.2003, Бюл. № 8 // Изобретения. Полезные модели – 2003. – № 8.

Изд. лиц. ЛР № 020267 от 22.11.96.

Подписано в печать 21.04.03. Бумага офсетная. Формат 60×84 1/16.

Гарнитура "Таймс". Печать трафаретная. Усл.–печ. л. 1,5. Уч.–изд. л. 1,3.

Тираж 90 экз. Заказ № 20.

Издательство Уфимского государственного нефтяного
технического университета

Адрес издательства:

450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

Адрес типографии:

453118, г. Стерлитамак, пр. Октября, 2.