

Н.П. МИДУКОВ, В.С.КУРОВ, А.О.НИКИФОРОВ

Процессы и аппараты химической технологии

**Учебно-практическое пособие
для самостоятельной работы студентов**

**Санкт-Петербург
2017**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Н.П.Мидуков, В.С.Куров, А.О.Никифоров

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Учебно-практическое пособие
для самостоятельной работы студентов**

Санкт-Петербург

2017

УДК 66.1(076)

ББК 35.11я7

М 578

Мидуков Н.П., Куров В.С., Никифоров А.О. Процессы и аппараты химической технологии: учебно-практическое пособие для самостоятельной работы студентов; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2017.- 95 с.

ISBN 978-5-91646-118-3

В учебно-практическом пособии излагаются основные материалы по оформлению самостоятельной работы студентов, даются данные для расчетов химических реакторов в рамках курсового проекта, описывается способ проектирования (в программе AutoCAD) и изготовления макета теплообменной аппаратуры (с использованием 3D принтера), представлены основные аппараты, используемые в химической промышленности.

Учебно-практическое пособие предназначено для студентов и аспирантов технологических вузов, может быть полезно для научных и инженерно-технических работников.

Рецензенты:

Яблокова М.А., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой инженерного проектирования Санкт-Петербургского государственного технологического университета (Технического университета);

Александров А.В. - д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой машин автоматизированных систем ВШТЭ СПбГУПТД.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве учебного-практического пособия.

Редактор и корректор Т.А. Смирнова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2017., поз.6

Подп. к печати 10.05.17. Формат 60х84/16. Бумага тип.№1. Печать офсетная.

Объем 6,25 печ.л.; 6,25 уч. - изд. л. Изд. №6. Тираж 100 экз. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4.

ISBN 978-5-91646-118-3

© Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2017

© Мидуков Н.П., Куров В.С.,
Никифоров А.О., 2017

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа - планируемая учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя.

Формы самостоятельной работы студентов (СНС) разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем, глобальной сети Интернет;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

1.3.ЗАДАЧИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами самостоятельной работы являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей являются:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций или учебного пособия на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- написание рефератов;
- подготовка к семинарам и лабораторным работам, их оформление;
- составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний (педагогических, психологических, методических и др.);
- подготовка рецензий на статью, пособие;
- выполнение микроисследований;
- подготовка практических разработок;
- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;
- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов.

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей являются:

- текущие консультации;

- коллоквиум как форма контроля освоения теоретического содержания дисциплин (в часы консультаций, предусмотренных учебным планом);
- прием и разбор домашних заданий (в часы практических занятий);
- прием и защита лабораторных работ (во время проведения лаб.работ);
- выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин (руководство, консультирование и защита курсовых работ (в часы, предусмотренные учебным планом);
- выполнение учебно-исследовательской работы (руководство, консультирование и защита);
- прохождение и оформление результатов практик (руководство и оценка уровня сформированности профессиональных умений и навыков);
- выполнение выпускной квалификационной работы (руководство, консультирование и защита выпускных квалификационных работ).

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление программы, подготовка методического обеспечения, подготовка оборудования);
- основной (реализация программы, использование приемов поиска информации, усвоения, переработки, применения, передачи знаний, фиксирование результатов, самоорганизация процесса работы);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация, оценка эффективности программы и приемов работы, выводы о направлениях оптимизации труда).

Рассмотрим общие рекомендации по организации самостоятельной работы студентов на примерах по изучению дисциплин, преподаваемых на кафедре процессов и аппаратов.

2. РАБОТА С КНИГОЙ

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что работа с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Различают два вида чтения; первичное и вторичное. Первичное - это внимательное, неторопливое чтение, при котором можно остановиться на трудных местах. После него не должно остаться ни одного непонятого слова. Содержание не всегда может быть понятно после первичного чтения.

Задача вторичного чтения полное усвоение смысла целого (по счету это чтение может быть и не вторым, а третьим или четвертым).

2.1. ПРАВИЛА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Как уже отмечалось, самостоятельная работа с учебниками и книгами (а также самостоятельное теоретическое исследование проблем, обозначенных преподавателем на лекциях) – это важнейшее условие формирования научного способа познания. Основные советы здесь можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми Вам следует познакомиться.
- Такой перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и дипломных работ, а что Вас интересует за рамками официальной учебной деятельности, т.е. что может расширить Вашу общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и дипломных работ это позволит очень сэкономить время);
 - разобраться для себя, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть.

При составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и научными руководителями (или даже с более подготовленными и эрудированными сокурсниками), которые помогут Вам лучше сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время.

Естественно, все прочитанные книги, учебники и статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц).

Если книга – Ваша собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные для Вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора (это очень хороший совет, позволяющий экономить время и быстро находить «избранные» места в самых разных книгах).

Если Вы раньше мало работали с научной литературой, то следует выработать в себе способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда Вам понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать), и это может занять немалое время (у кого-то – до нескольких недель и даже месяцев).

Есть еще один эффективный способ оптимизировать знакомство с научной литературой – следует увлечься какой-то идеей и все книги просматривать с точки зрения данной идеи. В этом случае студент (или молодой ученый) будет как бы искать аргументы «за» или «против» интересующей его идеи, и одновременно он будет как бы общаться с авторами этих книг по поводу своих идей и размышлений.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности – извлечение из текста необходимой информации. От того, насколько осознана читающим собственная внутренняя установка при обращении к

печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) - во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют четыре основные установки в чтении научного текста:

1. Информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)
2. Усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)
3. Аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)
4. Творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к научному тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель –

познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения, близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первое из них предполагает направленный критический анализ как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с научным текстом.

2.2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СИСТЕМАТИЗИРОВАННОЙ ЗАПИСИ ПРОЧИТАННОГО

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

2. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

3. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

4. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.
5. Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

2.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ КОНСПЕКТА

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.
2. Выделите главное, составьте план.
3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.
4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.
5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически

обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнения и решение задач проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения сложных вопросов. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие,

и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

3.1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ»

Химическим реактором называется аппарат, в котором осуществляются химические процессы, сочетающие химические реакции массо- и теплопереноса. Одной из разновидностей химических реакторов является трубчатый реактор. Он представляется собой аппарат с множеством трубок, внутри которых находится катализатор. Трубки помещены в кожух. Таким образом в реакторе есть трубное и межтрубное пространство. В трубном пространстве происходит реакция, а межтрубное пространство заполняется хладагентом, отводящим тепло реакции.

Для трубчатого реактора при соотношении $L/d \geq 100$ применима модель идеального вытеснения.

В таком реакторе приняты следующие допущения:

- все частицы движутся в заданном направлении, не перемешиваясь с движущимися впереди и сзади и полностью вытесняя подобно поршню находящиеся впереди частицы потока (плотность реакционной смеси по длине остаётся постоянной);
- время пребывания всех частиц внутри реактора одинаково;
- градиенты температур и концентраций по радиусу трубок отсутствуют.

В реакторе происходит реакция вида (рис. 3.1):

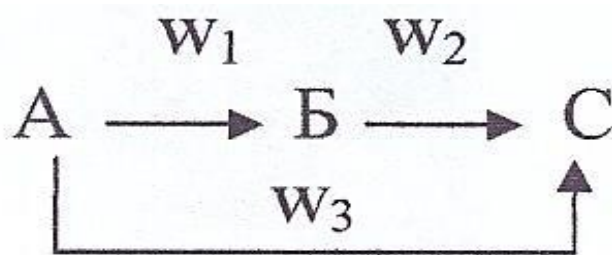


Рис. 3.1. Химическая реакция для реактора идеального вытеснения
 где А – исходная смесь, Б – целевой продукт, С – побочный продукт.
 w_1 , w_2 , w_3 – скорости реакций соответственно $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$ и $A \rightarrow C$.

Физическую модель реактора можно представить следующим образом
 (рис. 3.2)

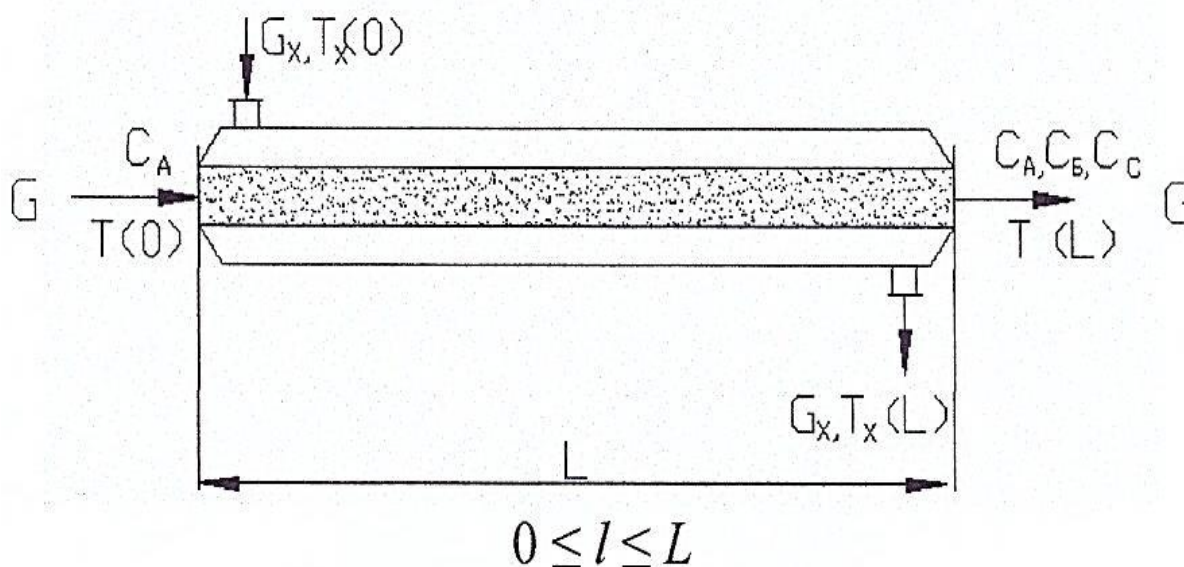


Рис. 3.2. Физическая модель реактора

Графики распределения температур и концентраций по длине аппарата
 выглядят следующим образом (рис. 3.3):

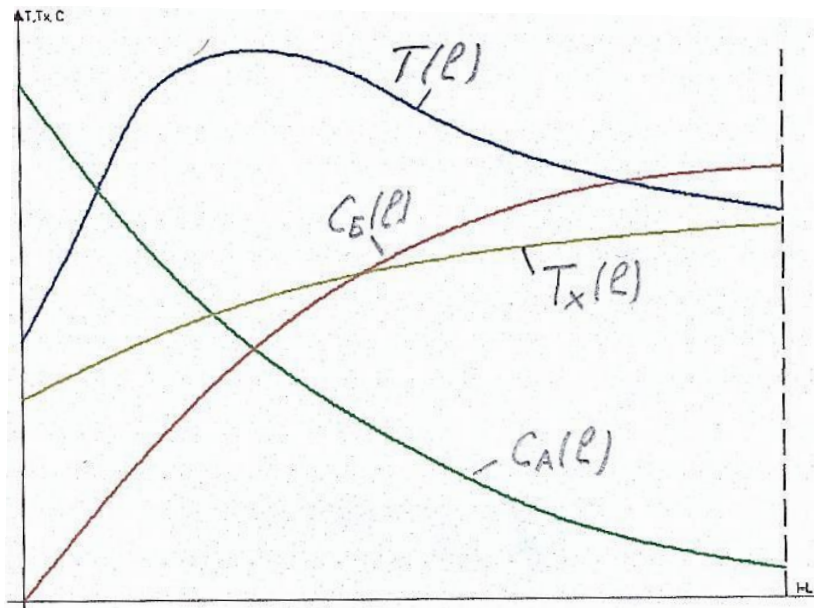


Рис. 3.3. Графики распределения температур и концентраций по длине аппарата.

3.1.1. ЗАДАЧА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Общая постановка задачи выглядит следующим образом: необходимо найти такие значения C_A, C_B, T, T_x , что критерий оптимальности $\Phi(C_A, C_B, T, T_x)$ достигает максимума при выполнении условий:

$$\frac{dC_A(l)}{dl} = -\frac{S \cdot F}{G}(W_1 + W_3);$$

$$\frac{dC_B(l)}{dl} = \frac{S \cdot F}{G}(W_1 - W_2); \quad (3.1)$$

$$T(l) = T_0 + \frac{Q}{S \cdot F} \ln \left(\frac{C_A(l)}{C_A(0)} \right);$$

$$T_x(l) = T_0 + \frac{Q}{S \cdot F} \ln \left(\frac{C_B(l)}{C_B(0)} \right);$$

$$C_A(0) = C_{A0}, \quad C_B(0) = C_{B0}, \quad T(0) = T_0, \quad T_x(0) = T_{x0};$$

$$W_1 = K_1 \cdot \frac{C_B^v}{1 + b \cdot C_A^c}; \quad W_2 = K_2 \cdot C_A; \quad W_3 = K_3 \cdot \frac{C_B^v}{1 + b^* C_A^c};$$

$$K_i = K_{i0} \cdot \exp \left(\frac{-E_i}{RT} \right), \quad i = \overline{1,3}.$$

где А, Б, В – реагенты: А - сырье, В - побочный продукт, Б - целевой продукт;

C_A, C_B – концентрация сырья и целевого продукта;

W_1, W_2, W_3 – скорости химических реакций;

L – длина реакционной зоны;

d – диаметр трубы;

S – удельная поверхность катализатора;

F – площадь поперечного сечения трубы;

G – расход сырья;

T – температура в зоне реакций;

C, γ, ν – стехиометрические коэффициенты;

$K_{i0}, i = 1, 2, 3$ предэкспоненциальные множители;

$E_i, i = 1, 2, 3$ - энергии активации реакций;

R - универсальная газовая постоянная;

b – константа.

Система (3.1) – математическая модель трубчатого реактора для задачи поиска максимального, теоретически возможного выхода целевого продукта.

Поставленная задача относится к классу вариационных задач, для решения которых чаще всего используются прямые вариационные методы, общая схема применения которых заключается в том, что исходная (вариационная) постановка задачи сводится к постановке задачи в виде поиска экстремума функции многих переменных с ограничениями, т.е. к задаче математического программирования.

Постановка задачи для одной трубы фиксированного диаметра d сводится к поиску таких значений $T(l)$, что функционал $J(T(l))$ достигает максимума при выполнении условий (3.1).

Зададим искомую экстремаль $T(l)$ в какой-либо форме, удобной для дальнейшего применения, например, в виде степенного полинома:

$$T(l) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot l^i \quad (3.2)$$

С учетом ограничения выражение (3.2) примет следующий вид:

$$T(l) = \begin{cases} T_{\max}, & \text{если } T(l) \geq T_{\max}; \\ \sum_{i=0}^n a_i \cdot l^i, & \text{если } T_{\min} < T(l) < T_{\max}; \\ T_{\min}, & \text{если } T(l) \leq T_{\min}. \end{cases} \quad (3.3)$$

Тогда критерий оптимальности $T(l)$ будет преобразован к функции многих переменных, т.е.:

$$T(l) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot l^i.$$

Таким образом, вариационная задача сводится к задаче математического программирования: необходимо найти такие l_i , что критерий оптимальности $T(l)$ достигает максимума при выполнении условий (3.1), (3.3).

Решение этой задачи может быть осуществлено с применением одного из методов непрерывного нелинейного программирования, например методом наискорейшего спуска.

Функция $T(l)$ может быть найдена как в классе непрерывных, так и в классе кусочно-постоянных функций. В последнем случае выражение (3.3) преобразуется к виду:

$$T(l) = \begin{cases} T_{\max} & \text{если } l \geq l_{\max} \\ T_{\min} & \text{если } l \leq l_{\min} \end{cases} \quad (3.4)$$

Или

$$T(l) = \begin{cases} T_{\min} & \text{если } l \geq l_{\max} \\ T_{\max} & \text{если } l \leq l_{\min} \end{cases}$$

где $l_{\text{пер}}$ – координата "точки переключения".

При этом критерий оптимальности примет вид:

$$KQ_{\text{опт}} = \max_{T(l), C_A(l), C_B(l)} \quad (3.6)$$

а постановка задачи сведется к следующему: необходимо найти такие $T(l), C_A(l), C_B(l)$, что критерий (3.6) достигает максимума при выполнении условий (3.1), (3.4) или (3.5).

Графическое представление решений математических моделей (3.1)-(3.3) приведено на рис. 3.4.

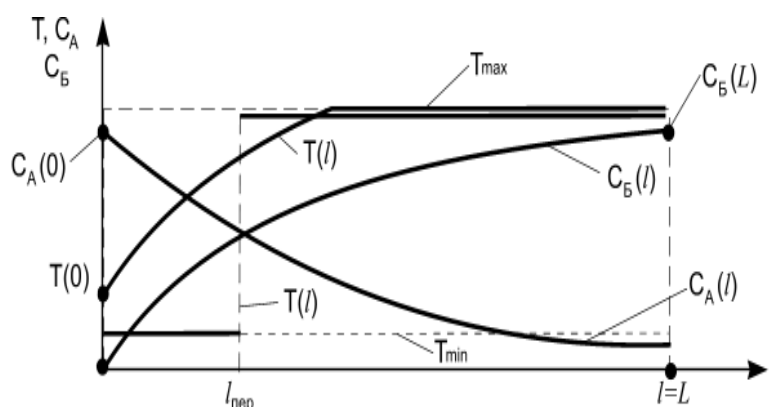


Рис. 3.4. Результаты решения задачи теоретической оптимизации.

Решение задачи теоретической оптимизации позволяет получить верхнюю оценку выхода целевого продукта $C_B(L)$ в трубчатом реакторе с заданным кинетическим механизмом протекания химических превращений. Наличие такого решения дает проектировщику представление о том, насколько близко он находится к теоретически возможному выходу $C_B(L)$ при решении реальной задачи. Очевидно, что этот показатель при любых ухищрениях проектировщика, связанных с конструкцией аппарата, не может быть превышен.

3.1.2. ЗАДАЧА РЕАЛИЗАЦИИ (ОПТИМИЗАЦИЯ ТРУБЧАТОГО РЕАКТОРА)

Постановка задач реализации процесса в реакторе имеет следующий вид: необходимо найти такие значения $d, L, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x$ что

критерий оптимальности $I = C_B(L)[d, L, C_A(0), G, T, T_x(0), G_x]$ достигает максимума при выполнении условий математической модели.

Рассмотрим вид этих условий. Искомые параметры из условий физической реализуемости должны быть ограничены:

$$\begin{aligned}
 d_{\min} &\leq d \leq d_{\max} \\
 L_{\min} &\leq L \leq L_{\max} \\
 C_A(0)_{\min} &\leq C_A(0) \leq C_A(0)_{\max} \\
 G_{\min} &\leq G \leq G_{\max} \\
 T(0)_{\min} &\leq T(0) \leq T(0)_{\max} \\
 T_x(0)_{\min} &\leq T_x(0) \leq T_x(0)_{\max} \\
 G_{x\min} &\leq G_x \leq G_{x\max}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Предположим, что все три реакции экзотермические, т.е. при превращении (расходовании, получении) одного моля реагента образуется Q_i количество тепла, $i = \overline{1,3}$. Таким образом, в процессе получения веществ Б и С в реакционной зоне имеются внутренние источники тепла. С учетом принятых допущений уравнения, описывающие изменение концентраций и температур в зоне реакции и межтрубном пространстве, можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_A(l)}{dl} &= -\frac{S \cdot F}{G}(W_1 + W_3); \\
 \frac{dC_B(l)}{dl} &= \frac{S \cdot F}{G}(W_1 - W_2); \\
 \frac{dT(l)}{dl} &= \frac{S \cdot F}{G \cdot c} \sum_{i=1}^3 W_i \cdot Q_i - \frac{K_T \cdot \Pi}{G \cdot c}(T - T_x); \\
 \frac{dT_x(l)}{dl} &= \frac{K_t \cdot \Pi}{G_x \cdot c_x}(T - T_x);
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

$$C_A(0) = C_{A0}; C_B(0) = 0; T(0) = T_0; T_x(0) = T_{x0}; 0 \leq l \leq L;$$

$$W_1 = K_1 \cdot \frac{C_B^\nu}{1 + b \cdot C_A^c}; \quad W_2 = K_2 \cdot C_A; \quad W_3 = K_3 \cdot \frac{C_B^\nu}{1 + b \cdot C_A^c};$$

$$K_i = K_{i0} \cdot \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right), \quad i = \overline{1,3}.$$

где C_A, C_B – концентрации сырья и полезного продукта;

$T(l)$ – температура в зоне реакции;

S_0 – удельная поверхность катализатора $\text{м}^2/\text{м}^3$;

F – поверхность раздела реакционной зоны и рубашки;

G – расход исходной смеси, поступающей в реактор;

L – длина реакционной зоны;

K_{i0} – константы скорости i -й реакции, $i=1,2,3$;

γ, ν, c – стехиометрические коэффициенты;

R – универсальная газовая постоянная;

E_i – энергия активации i -й реакции;

Q_i – тепловой эффект i -й реакции.

Для решения уравнений математической модели (3.8) может быть использован метод Рунге-Кутты.

Таким образом, математическая модель трубчатого реактора с последовательно-параллельным кинетическим механизмом получения целевого продукта Б, предназначенная для поиска основных конструктивных и режимных характеристик аппарата, может быть представлена системой (3.6),(3.7).

В окончательном виде формализованная постановка задачи поиска режимных и конструктивных характеристик реактора выглядит так: необходимо найти такие $d, L, m, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x$ что критерий оптимальности $I = C_B(L)[d, L, m, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x]$ достигает максимума. Здесь m – число труб реактора, которое определяет его производительность.

Далее расчетные соотношения приводятся для одной трубы. Поставленная задача относится к классу задач непрерывного математического программирования и может быть решена одним из градиентных или безградиентных методов. В результате решения задачи

реализации исследователь получает следующие результаты: максимальное значение $C_B(L)$, величины $C_A(0)$, $T(0)$, G , G_x , $T_x(0)$, d , проскок сырья $C_A(L)$ распределения $T(l)$, $T_x(l)$, $C_A(l)$, $C_B(l)$ по длине реакционной зоны, предельное значение температуры в зоне реакции, длину реакционной зоны L . На рис. 3.5 приводится графическая иллюстрация решения задачи реализации. Температурный "выброс" в начале реакционной зоны объясняется экзотермическим характером всех трех реакций.

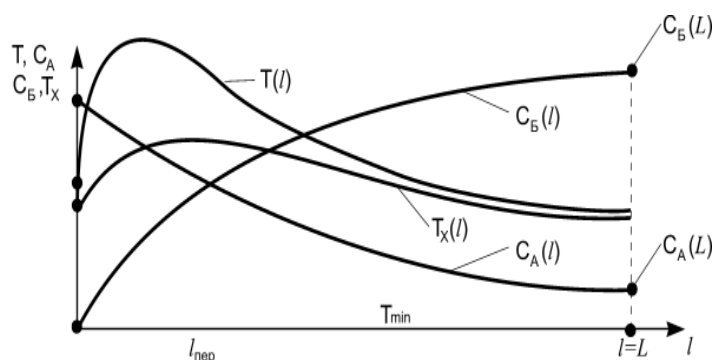


Рис. 3.5. Решение задачи реализации режимных и конструктивных характеристик трубчатого реактора

Решение задачи реализации учитывает реальные условия теплообмена. Как частный случай решения задач теоретической оптимизации и реализации можно осуществлять при фиксированной, т.е. задаваемой заранее проектировщиком длины реакционной зоны.

3.1.3. ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ТРУБЧАТОГО РЕАКТОРА ПУТЁМ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОСТЬЮ КАТАЛИЗАТОРА

Рассмотрим ситуацию, когда кроме перечисленных выше параметров, в качестве варьируемой величины используется активность катализатора, изменяющаяся по длине реакционной зоны. Подобный подход позволяет устранить перегрев в реакционной зоне и устранить его отрицательное

влияние на выход целевого продукта. Естественно, что осуществить загрузку катализатора с различной активностью при числе труб более тысячи штук затруднительно, а порой невозможно. Поэтому постановку задачи поиска режимных и конструктивных характеристик трубчатого реактора будем осуществлять в классе непрерывных и кусочно-постоянных функций, которые характеризуют изменение активности катализатора по длине реакционной зоны.

Постановка задачи управления активностью катализатора в реакторе имеет следующий вид: необходимо найти такие значения $\varphi(l), d, L, C_A(0), G, T(0), T_x(0), G_x$, что критерий оптимальности $I = C_A(L)[\varphi(l), d, L, C_A(0), G, T, T_x(0), G_x]$ достигает максимума при выполнении условий математической модели. В случае задания распределения активности катализатора в виде непрерывной функции будет получена верхняя оценка решения задачи (теоретически возможная, но на практике неприменимая). Введем понятие функции распределения активности катализатора по длине реакционной зоны:

$$\varphi(l), \quad 0 \leq l \leq L, \quad 0 \leq \varphi(l) \leq 1 \quad (3.9)$$

За меру активности катализатора в рассмотренных выше примерах использовалась удельная поверхность S . Тогда

$$S = S_0 \cdot \varphi(l), \quad 0 \leq l \leq L, \quad (3.10)$$

где S_0 - удельная поверхность катализатора при загрузке; S - текущее значение удельной поверхности катализатора.

Если $\varphi(l)$ непрерывная функция, то ее вид может быть следующим:

$$\varphi(l) = \sum_{i=0}^K b_i \cdot l^i \quad (3.11)$$

Тогда постановка задачи поиска режимных и конструктивных характеристик трубчатого реактора примет следующий вид: необходимо найти такие $T(l), \varphi(l), G, C_A(0), L, d, m$, что критерий оптимальности $I[T(l), \varphi(l), G, C_A(0), L, d, m] = C_0(L)$ достигает максимума.

Эта постановка задачи (вариационной) позволяет найти теоретически возможный выход целевого продукта $C_B(L)$ при произвольном, независимом от условий реализации $T(l)$ и $\varphi(l)$ изменении этих величин.

В реальных условиях число зон с различной активностью катализатора может колебаться от двух до трех-пяти, так как в промышленном реакторе провести более мелкое разбиение рабочей зоны трубы весьма трудно.

Таким образом, постановка задачи реализации условий теплопередачи и распределения активности катализатора по длине реакционной зоны сводится к следующему: необходимо найти такие $T(0), C_A(0), G, T_x(0), G_x, L, d, m, \varphi_1, l_{\text{пер}}$ что критерий оптимальности

$$I[T(0), C_A(0), G, T_x(0), G_x, L, d, m, \varphi_1, l_{\text{пер}}] = C_B(L) \quad (3.12)$$

достигает максимума при выполнении условий - математической модели трубчатого реактора, учитывающей реальное распределение $T(l)$ и $\varphi(l)$ по длине реакционной зоны.

Таким образом, поиск функции $\varphi(l)$ осуществляется в классе кусочно-постоянных функций. Представим $\varphi(l)$ в следующем виде:

$$\varphi(l) = \begin{cases} \varphi_1, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер}} \\ 1, & \text{если } l_{\text{пер}} < l \leq L \end{cases}$$

или (3.13)

$$\varphi(l) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер}} \\ \varphi_1, & \text{если } l_{\text{пер}} < l \leq L \end{cases}$$

Условие (3.9) записано для случая, когда число зон с различной активностью катализатора равно двум. Для трех зон условие (3.13) примет следующий вид:

$$\varphi(l) = \begin{cases} \varphi_1, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер1}} \\ \varphi_2, & \text{если } l_{\text{пер1}} < l \leq l_{\text{пер2}} \\ 1, & \text{если } l_{\text{пер2}} < l \leq L \end{cases}$$

или (3.14)

$$\varphi(l) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер}1} \\ \varphi_1, & \text{если } l_{\text{пер}1} < l \leq l_{\text{пер}2} \\ \varphi_2, & \text{если } l_{\text{пер}2} < l \leq L \end{cases}$$

Аналогично можно записать условие определения $\varphi(l)$ при четырех или пяти зонах.

В условиях (3.13), (3.14) верхняя запись представляет возрастающую функцию $\varphi(l)$, нижняя – убывающую. Использование той или другой формы записи для определения $\varphi(l)$ зависит от характера тепловых эффектов реакций и конструкции теплообменных устройств реактора. Уточним условия, входящие в математическую модель реактора в соответствии с поставленной задачей. Математическая модель трубчатого реактора для приведенной выше постановки задачи примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A(l)}{dl} &= -\frac{S \cdot F}{G} (W_1 + W_3); \\ \frac{dC_B(l)}{dl} &= \frac{S \cdot F}{G} (W_1 - W_2); \\ \frac{dT(l)}{dl} &= \frac{S \cdot F}{G \cdot c} \sum_{i=1}^3 W_i \cdot Q_i - \frac{K_T \cdot \Pi}{G \cdot c} (T - T_x); \\ \frac{dT_x(l)}{dl} &= \frac{K_t \cdot \Pi}{G_x \cdot c_x} (T - T_x); \\ C_A(0) &= C_{A0}; C_B(0) = 0; T(0) = T_0; T_x(0) = T_{x0}; 0 \leq l \leq L; \\ W_1 &= K_1 \cdot \frac{C_B^\nu}{1 + b \cdot C_A^c}; \quad W_2 = K_2 \cdot C_A; \quad W_3 = K_3 \cdot \frac{C_B^\gamma}{1 + b \cdot C_A^c}; \\ K_i &= K_{i0} \cdot \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right), \quad i = \overline{1,3}. \end{aligned} \tag{3.15}$$

$$\varphi(l) = \begin{cases} \varphi_1, & \text{если } 0 \leq l \leq l_{\text{пер}} \\ 1, & \text{если } l_{\text{пер}} < l \leq L \end{cases}$$

$$\begin{aligned} d_{\min} \leq d \leq d_{\max}; \quad L_{\min} \leq L \leq L_{\max}; \quad C_A(0)_{\min} \leq C_A(0) \leq C_A(0)_{\max}; \\ G_{\min} \leq G \leq G_{\max}; \quad T(0)_{\min} \leq T(0) \leq T(0)_{\max}; \quad C_{x\min} \leq C_x \leq C_{x\max}; \end{aligned}$$

$$T_x(0)_{\min} \leq T_x(0) \leq T_x(0)_{\max}; \quad 0 \leq \varphi_1 \leq 1; \quad 0 \leq l_{\text{пер}} \leq L.$$

При разработке математической модели (3.15) сделано дополнительное допущение, что число зон с различной активностью катализатора равно двум, а функция $\varphi(l)$ - возрастающая.

Таким образом, формализованная (окончательная) постановка задачи поиска конструктивных и режимных характеристик трубчатого реактора сводится к следующему: необходимо найти такие

$T(0), C_A(0), G, T_x(0), G_x, L, d, n, \varphi_1, l_{\text{пер}}$ что критерий оптимальности (3.13) достигает своего максимума при ограничениях (3.15).

Решение подобной задачи позволяет "разгрузить" лобовой слой катализатора при сильно экзотермических реакциях и упростить систему теплоотвода. Кроме этого количество катализатора, необходимое для загрузки в реактор, снизилось. Выравнивание температурного режима и снижение количества катализатора в реакционной зоне способствует снижению себестоимости готовой продукции.

3.2. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрим работу программы. При запуске программы перед пользователем загружается главное окно программы (рис. 3.6). В этом окне представлена кинетика реакции и соответствующие формулы для расчёта скоростей реакции.

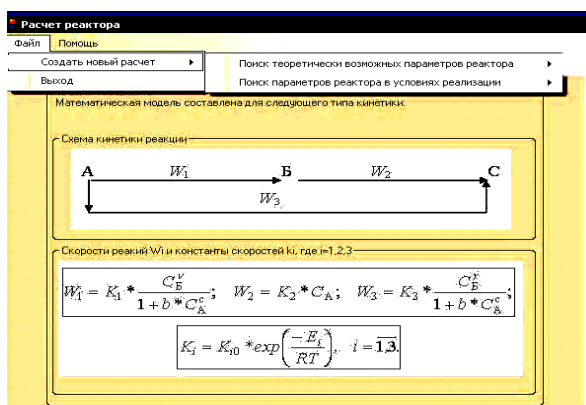


Рис. 3.6. Главное окно программы

В верхней части главного окна программы находится панель с двумя вкладками: «файл» и «помощь». Во вкладке «файл» находится две кнопки: «сделать расчёт» и «выход» (рис. 3.7).

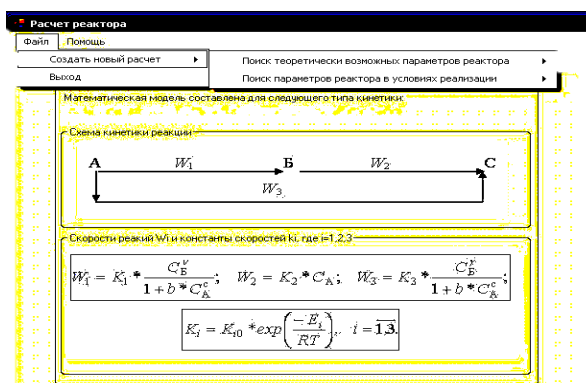


Рис. 3.7. Выбор вида расчёта

Для решения задачи реализации необходимо выбрать пункты меню «Файл» → «Создать новый расчёт» → «Поиск параметров реактора в условиях реализации» → «Поиск параметров реактора с реальным температурным полем». После выбора появится окно решения задачи реализации (рис. 3.8).

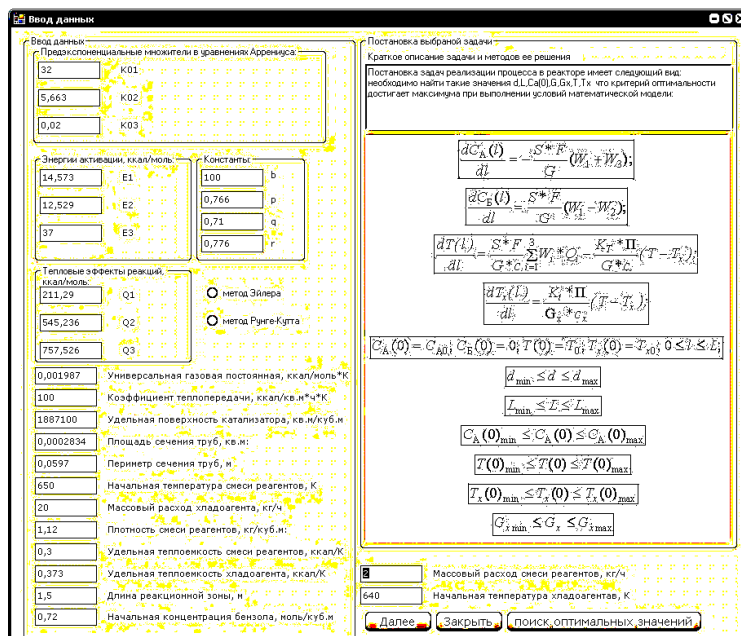


Рис. 3.8. Окно решения задачи реализации

В левой части окна представлены поля ввода данных. В правой части окна находится поле постановки задачи. Внизу окна расположены три

кнопки: «далее», «заккрыть» и «поиск оптимальных значений». Также пользователю на выбор предоставляется метод решения системы дифференциальных уравнений: метод Рунге-Кутта и модифицированный метод Эйлера (рис. 3.9)

Рис. 3.9. Выбор метода решения системы уравнений

При нажатии пользователем кнопки «далее» перед ним появляется окно с графиками распределения концентраций исходной смеси и продукта и температур смеси и хладагента (рис. 3.10).

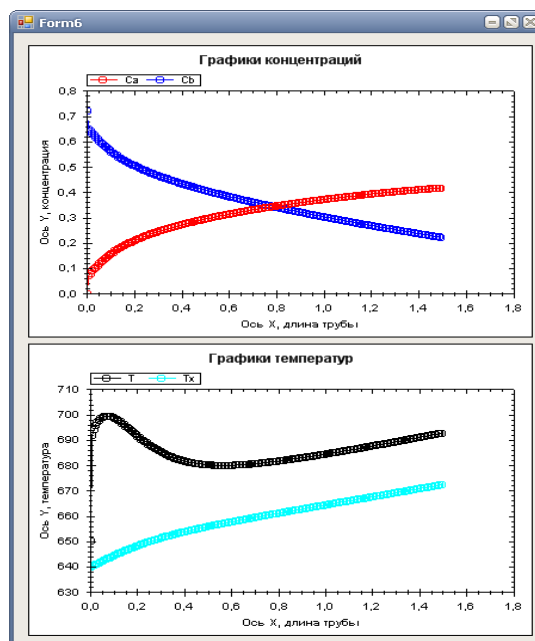


Рис. 3.10. Графики распределения температур и концентраций

При нажатии кнопки «поиск оптимальных значений» программа производит поиск наиболее оптимальных режимных и конструктивных характеристик и выводит пользователю сообщение с найденными значениями (рис. 3.11).

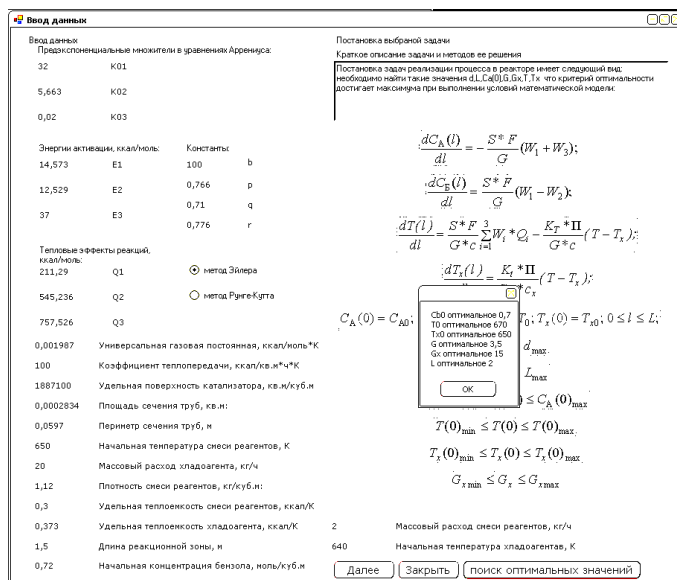


Рис. 3.11. Нахождение оптимальных характеристик

При нажатии кнопки «закрыть» программа закрывает окно решения задачи реализации трубчатого реактора.

Таким образом, в данном окне программы пользователь может решить задачу реализации, т.е. произвести поиск оптимальных режимных и конструктивных характеристик реактора, а также наглядно посмотреть распределение температур и концентраций по длине реактора.

Рассмотрим расчёт для задачи поиска оптимальных режимных и конструктивных характеристик при помощи управления активностью катализатора.

Выше был рассмотрен интерфейс главного окна программы, поэтому далее он будет пропущен, а работу будем рассматривать уже непосредственно с окна решения задачи управления активностью катализатора.

Для того чтобы загрузить окно решения задачи управления активностью катализатора, необходимо выбрать в верхнем меню «Файл» → «Создать новый

расчёт»→«Поиск параметров реактора в условиях реализации » → Управление активностью катализатора» (рис. 3.12).

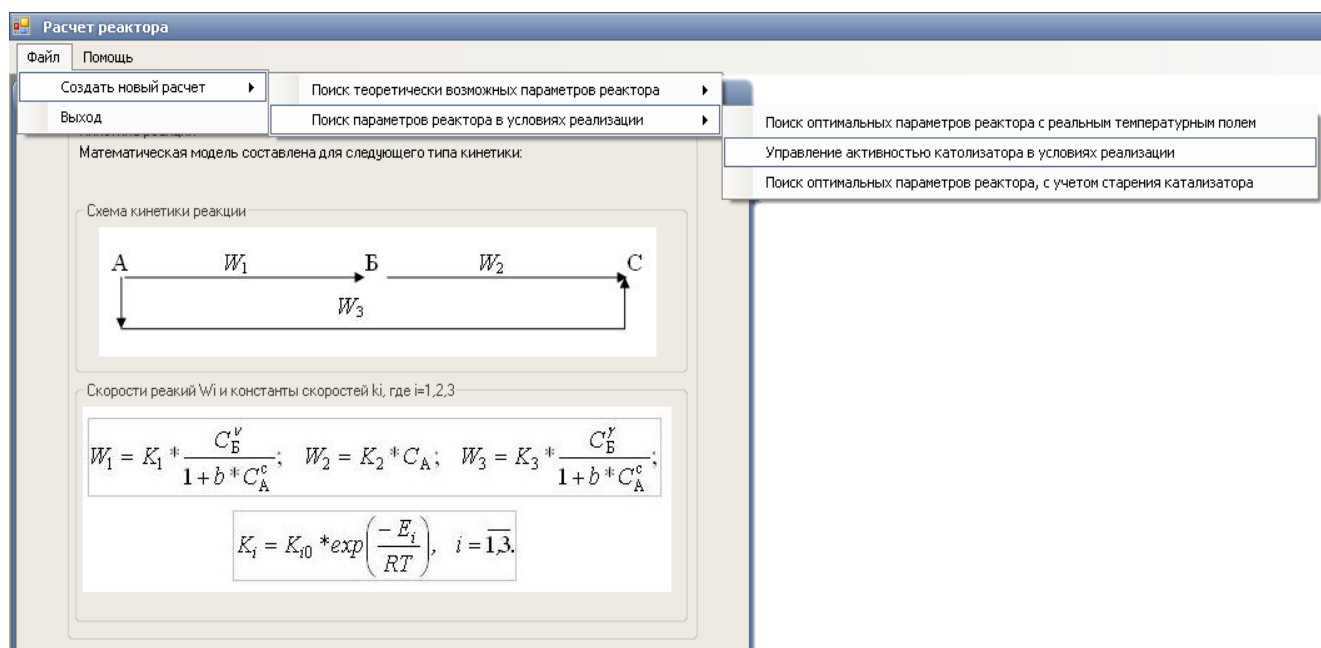


Рис. 3.12. Выбор вида расчёта

После выбора этого пункта меню перед пользователем загрузится окно решения задачи (рис. 3.13).

Рис. 3.13. Окно решения задачи

В этом окне слева представлены поля для ввода информации. Слева находится постановка выбранной задачи. Также пользователь может выбрать метод решения системы дифференциальных уравнений (рис. 3.14). Также в верхней части есть выбор вида функции распределения активностью катализатора: в виде кусочно-постоянной функции (реализация) и в виде непрерывной функции (верхняя оценка) (рис. 3.15).

При нажатии пользователем кнопки «далее» перед пользователем появляется окно с графиками распределения концентраций исходной смеси и продукта и температур смеси и хладагента и функцией распределения активности катализатора (Рис. 3.16).

Ввод данных

Предэкспоненциальные множители в уравнениях Аррениуса:

32 K01

5,663 K02

0,02 K03

Энергии активации, ккал/моль:

14,573 E1

12,529 E2

37 E3

Тепловые эффекты реакций, ккал/моль:

211,29 Q1

545,236 Q2

757,526 Q3

Константы:

100 b

0,766 p

0,71 q

0,776 r

0,001987 Универсальная газовая постоянная, ккал/моль*К

100 Коэффициент теплопередачи, ккал/кв.м*ч*К

1887100 Удельная поверхность катализатора, кв.м/куб.м

0,0002834 Площадь сечения труб, кв.м:

0,0597 Периметр сечения труб, м

650 Начальная температура смеси реагентов, К

20 Массовый расход хладагента, кг/ч

1,12 Плотность смеси реагентов, кг/куб.м:

0,3 Удельная теплоемкость смеси реагентов, ккал/К

0,373 Удельная теплоемкость хладагента, ккал/К

1,5 Длина реакционной зоны, м

0,72 Начальная концентрация бензола, моль/куб.м

0,5 Расстояние до точки переключения, м

Постановка выбранной задачи

Краткое описание задачи и методов ее решения

Постановка задач реализации процесса в реакторе имеет следующий вид: необходимо найти такие значения $dL, Ca(0), G, G_x, T_x, l_{пер}$ что критерий оптимальности достигает максимума при выполнении условий математической модели:

$$\frac{dC_A(l)}{dl} = -\frac{S^* F}{G} (W_1 + W_3);$$

$$\frac{dC_B(l)}{dl} = \frac{S^* F}{G} (W_1 - W_2);$$

$$\frac{dT(l)}{dl} = \frac{S^* F}{G * c} \sum_{i=1}^3 W_i * Q_i - \frac{K_T * \Pi}{G * c} (T - T_x);$$

$$\frac{dT_x(l)}{dl} = \frac{K_T * \Pi}{G_x * c_x} (T - T_x);$$

$$S = S_0 * \varphi(l), \quad \frac{d\varphi(l)}{dl} = \frac{K_l * \Pi}{G_x * c_x} (T - T_x);$$

$$C_A(0) = C_{A0}, C_B(0) = 0; T(0) = T_0; T_x(0) = T_{x0}; 0 \leq l \leq L;$$

$$d_{min} \leq d \leq d_{max} \quad 0 \leq \varphi \leq 1; \quad 0 \leq l_{пер} \leq L;$$

$$L_{min} \leq L \leq L_{max}$$

$$C_A(0)_{min} \leq C_A(0) \leq C_A(0)_{max}$$

$$T(0)_{min} \leq T(0) \leq T(0)_{max}$$

$$T_x(0)_{min} \leq T_x(0) \leq T_x(0)_{max}$$

$$G_{x min} \leq G_x \leq G_{x max}$$

Метод решения

☒ метод Эйлера

☐ метод Рунге-Кутты

Далее **Закрыть** **Оптимизация**

Рис. 3.14. Выбор метода решения системы

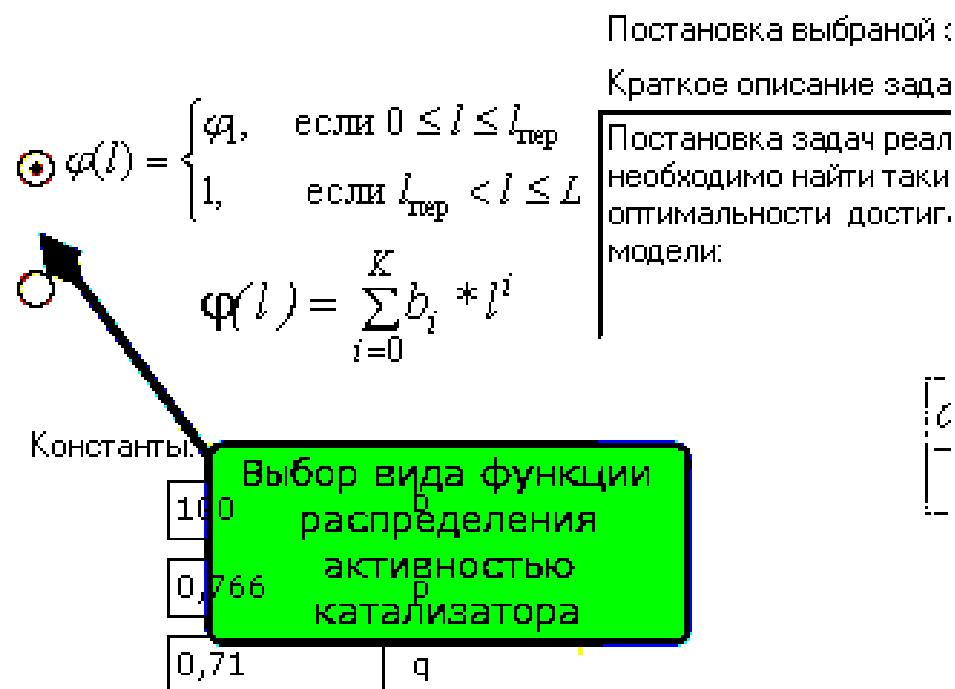


Рис. 3.15. Выбор вида функции распределения активности катализатора

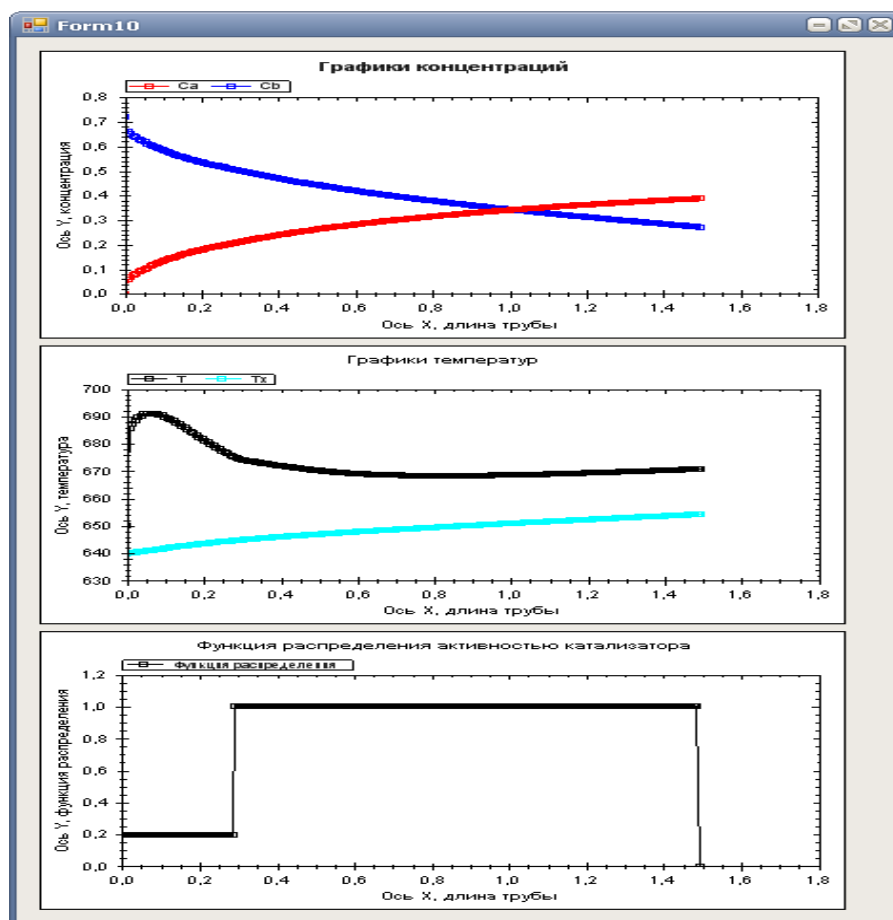


Рис. 3.16. Графики распределения температур и концентраций и функции распределения активности катализатора

При нажатии кнопки «поиск оптимальных значений» программа производит поиск наиболее оптимальных режимных и конструктивных характеристик и выводит пользователю сообщение с найденными значениями.

Ввод данных:

Предэкспоненциальные множители в уравнениях Аррениуса:

32 K01
5,663 K02
0,02 K03

Энергии активации, ккал/моль:

14,573 E1
12,529 E2
37 E3

Тепловые эффекты реакций, ккал/моль:

211,29 Q1
545,236 Q2
757,526 Q3

Константы:

100 b
0,766 p
0,71 q
0,776 r

Тепловые эффекты реакций, ккал/моль:

0,001987 Q1
100 Q2
1887100 Q3

Универсальная газовая постоянная, ккал/моль*К: 0,001987

Коэффициент теплопередачи, ккал/кв.м*ч*К: 100

Удельная поверхность катализатора, кв.м/куб.м: 1887100

Площадь сечения труб, кв.м: 0,0002834

Периметр сечения труб, м: 0,0597

Начальная температура смеси реагентов, К: 650

Массовый расход хладагента, кг/ч: 20

Плотность смеси реагентов, кг/куб.м: 1,12

Удельная теплоемкость смеси реагентов, ккал/К: 0,3

Удельная теплоемкость хладагента, ккал/К: 0,373

Длина реакционной зоны, м: 1,5

Начальная концентрация бензола, моль/куб.м: 0,72

Расстояние до точки переключения, м: 0,5

Постановка выбранной задачи:

Краткое описание задачи и методов ее решения

Постановка задач реализации процесса в реакторе имеет следующий вид: необходимо найти такие значения $d, L, C_A(0), G, G_x, T, T_{x, \text{пер}}$ что критерий оптимальности достигает максимума при выполнении условий математической модели:

$$\frac{dC_A(l)}{dl} = -\frac{S \cdot F}{G} (W_1 + W_2);$$

$$\frac{dC_B(l)}{dl} = \frac{S \cdot F}{G} (W_1 - W_2);$$

$$\frac{dT(l)}{dl} = \frac{S \cdot F}{G \cdot c} \sum_{i=1}^3 W_i \cdot Q_i - \frac{K_T \cdot \Pi}{G \cdot c} (T - T_x)_i;$$

$$\frac{dT_x(l)}{dl} = \frac{K_T \cdot \Pi}{G_x \cdot c_x} (T - T_x);$$

$$S = S_0 \cdot m(l);$$

$C_A(0) = C_{A0};$

$d_{\min} \leq d \leq d_{\max};$

$T(0)_{\min} \leq T(0) \leq T(0)_{\max};$

$T_x(0)_{\min} \leq T_x(0) \leq T_x(0)_{\max};$

$G_{x \min} \leq G_x \leq G_{x \max};$

$T_0; T_x(0) = T_{x0}; 0 \leq l \leq L;$

$\leq 1; 0 \leq l_{\text{пер}} \leq L.$

$L_{\max}$

$\leq C_A(0)_{\max}$

Оптимизационные значения:

Cb0 оптимальное 0,7
T0 оптимальное 670
Tx0 оптимальное 650
G оптимальное 3,5
Gx оптимальное 15
L оптимальное 2

Активность катализатора до точки переключения: 0,5

Массовый расход смеси реагентов, кг/ч: 2

Начальная температура хладагента, К: 640

Далее Закрыть Поиск оптимальных значений

Рис. 3.17. Поиск оптимальных характеристик

При нажатии кнопки «закрыть» программа закрывает окно решения задачи управления активностью катализатора трубчатого реактора.

Таким образом, в данном окне программы пользователь может решить задачу управления активностью катализатора, т.е. произвести поиск оптимальных режимных и конструктивных характеристик реактора, а также наглядно посмотреть распределение температур и концентраций по длине реактора.

Теперь рассмотрим расчёт задачи теоретической оптимизации.

Для того чтобы загрузить окно решения задачи управления активностью катализатора, необходимо выбрать в верхнем меню «Файл» → «Создать новый расчёт» → «Поиск теоретически возможных параметров реактора» → «Функция температуры представлена полиномом» → «Сформировать расчёт» (рис. 3.18).

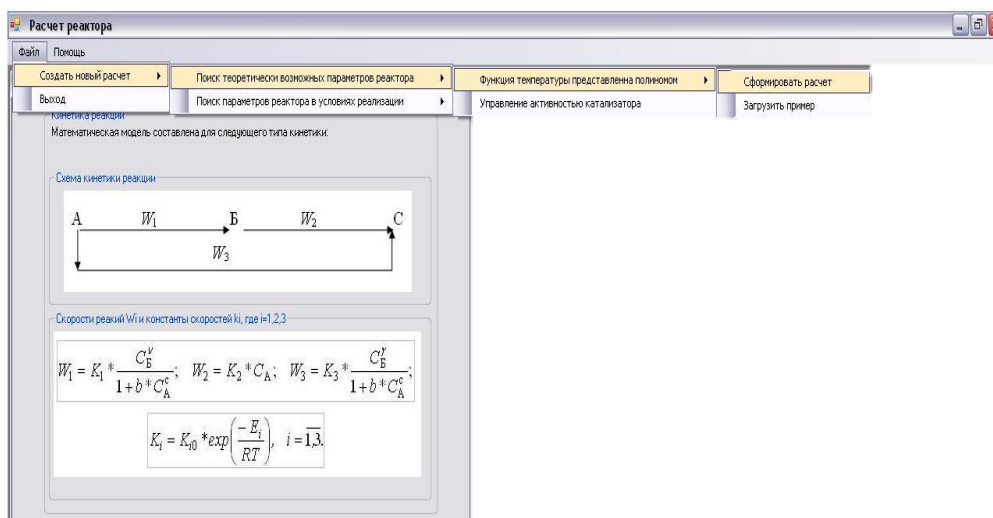


Рис. 3.18. Выбор вида расчёта

После выбора этого пункта меню перед пользователем загрузится окно решения задачи (рис. 3.19).

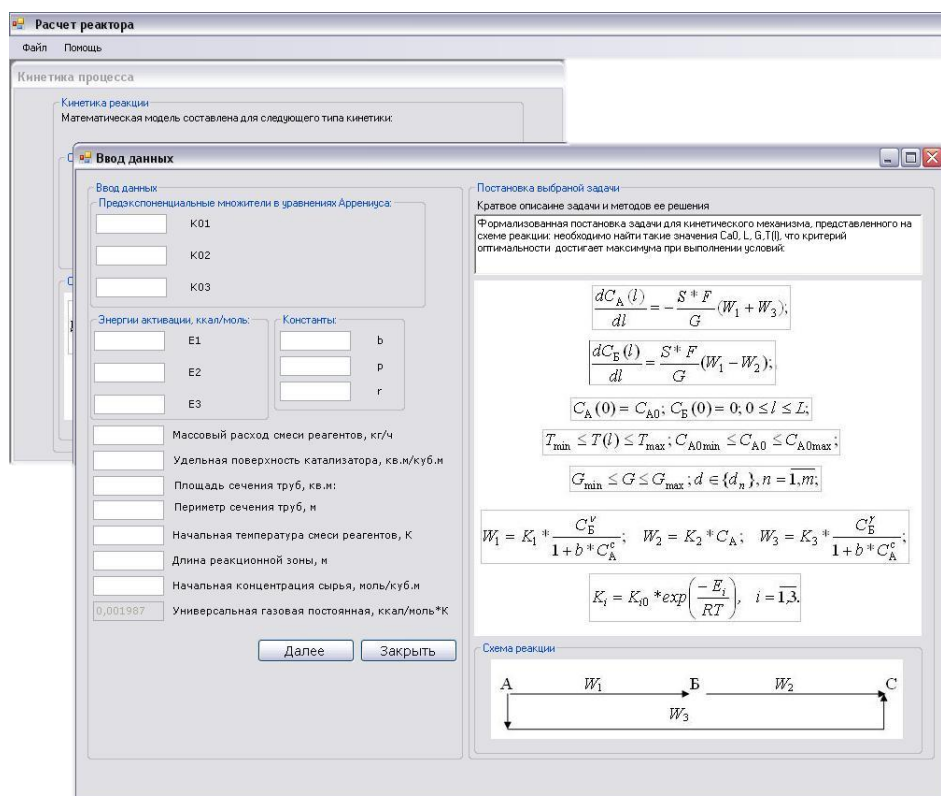


Рис. 3.19. Окно решения задачи

В этом окне слева представлены поля для ввода информации. Слева находится постановка выбранной задачи. Эти поля необходимо заполнить для дальнейшего решения (рис. 3.20).

Расчет реактора

Файл Помощь

Кинетика процесса

Кинетика реакции
Математическая модель составлена для следующего типа кинетики:

Схема кинетики реакции

Ввод данных

Ввод данных

Предэкспоненциальные множители в уравнениях Аррениуса:

32 K01
5,663 K02
0,02 K03

Энергии активации, ккал/моль:

14,573 E1
12,529 E2
37 E3

Константы:

100 b
0,766 p
0,776 r

0,001987 Универсальная газовая постоянная, ккал/моль*К
1887100 Удельная поверхность катализатора, кв.м/куб.м
0,0002834 Площадь сечения труб, кв.м:
0,0597 Периметр сечения труб, м
650 Начальная температура смеси реагентов, К
2 Длина реакционной зоны, м
0,72 Начальная концентрация сырья, моль/куб.м
0,2 Массовый расход смеси реагентов, кг/ч

Данная математическая модель решается с помощью метода Рунге-Кутты. В качестве оптимизационного метода используется метод перебора.

Далее Заккрыть

Постановка выбранной задачи

Краткое описание задачи и методов ее решения

Формализованная постановка задачи для кинетического механизма, представленного на схеме реакции, необходимо найти такие значения C_{A0} , L , G , $T(l)$, что критерий оптимальности достигает максимума при выполнении условий:

$$\frac{dC_A(l)}{dl} = -\frac{S^* F}{G} (W_1 + W_3);$$

$$\frac{dC_B(l)}{dl} = \frac{S^* F}{G} (W_1 - W_2);$$

$$C_A(0) = C_{A0}; C_B(0) = 0; 0 \leq l \leq L;$$

$$T_{\min} \leq T(l) \leq T_{\max}; C_{A0\min} \leq C_{A0} \leq C_{A0\max};$$

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}; d \in \{d_n\}, n = \overline{1, m};$$

$$L_{\min} \leq L \leq L_{\max}$$

$$T(l) = \begin{cases} T_{\max}, & \text{если } T(l) \geq T_{\max}; \\ \sum_{i=0}^n a_i * l^i, & \text{если } T_{\min} < T(l) < T_{\max}; \\ T_{\min}, & \text{если } T(l) \leq T_{\min}. \end{cases}$$

$$T_{\min} \leq a_1 \leq T_{\max}$$

$$a_{i\min} \leq a_i \leq a_{i\max}, i = \overline{0, n}$$

Рис. 3.20. Выбор метода решения системы

После того как введены данные, необходимо нажать кнопку «далее» для произведения расчёта. Перед пользователем появится результат расчёта и графики распределения концентраций и температур (рис. 3.21).

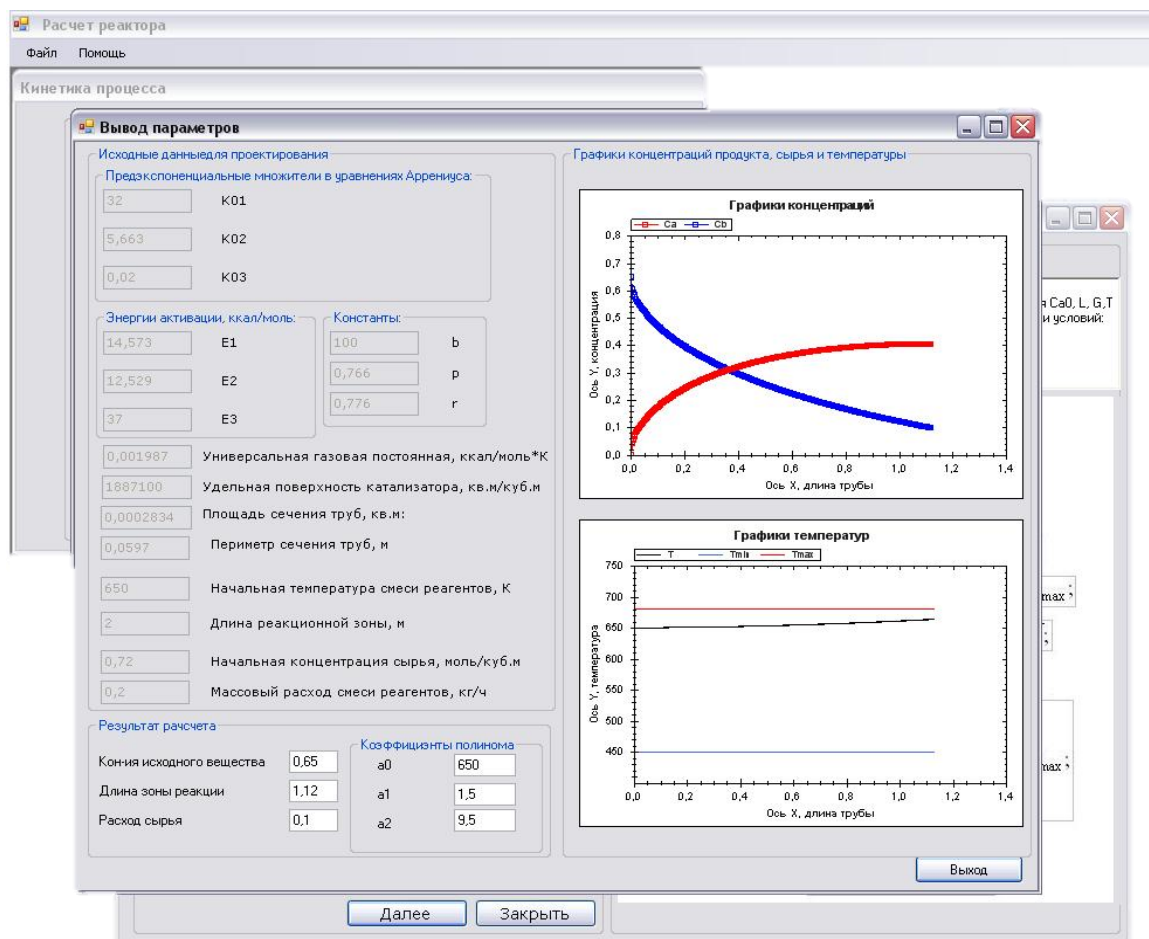


Рис. 3.21. Графики распределения температур и концентраций

При нажатии кнопки «заккрыть» программа закрывает окно решения задачи.

Таким образом, в данном окне программы пользователь может решить задачу теоретической оптимизации, т.е. произвести поиск оптимальных режимных и конструктивных характеристик реактора, а также наглядно посмотреть распределение температур и концентраций по длине реактора. Решение этой задачи позволяет пользователю знать верхнюю оценку выхода продукта из реактора. Это является необходимым для дальнейшего анализа решения задач реализации.

4. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

Курсовая работа - это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной финансовой ситуации.

Курсовая работа не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы студентом.

Выполнение курсовой работы начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы. Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют студенту написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана студент осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы студентами проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы студент должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы проводится в университете при наличии у студента курсовой работы, рецензии и зачетной книжки. Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ, найденные в Интернете, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных студенческих работ.

Рассмотрим пример курсового проекта по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии».

Задачами курсового проекта являются:

1. Освоить программу AutoCAD и изучить технологию 3D печати.
2. Разработать 3D модель теплообменника в AutoCAD.
3. Подобрать режим печати материала и напечатать 3D модель.

4.1. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА

Программа предназначена для проведения ряда тепловых расчетов следующих видов теплообменников:

- теплообменника труба в трубе (агрегатное состояние продукта и теплоносителя не меняется);
- кожухотрубчатого теплообменника (агрегатное состояние как продукта, так и теплоносителя может изменяться);
- пластинчатого теплообменника (агрегатное состояние продукта и теплоносителя не меняется);
- внутреннего концентрического змеевика емкостного аппарата (агрегатное состояние продукта в аппарате не меняется, в змеевике возможна конденсация паров теплоносителя);
- рубашек емкостного аппарата, выполненных из труб, полутруб, уголка или швеллера (агрегатное состояние продукта в аппарате не меняется, в рубашке возможна конденсация паров теплоносителя).

В состав программного комплекса также входит справочник теплофизических свойств веществ, содержащий зависимости характеристик используемых рабочих сред и теплоносителей от температуры: плотность, вязкость, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент объемного расширения, коэффициент поверхностного натяжения, удельная теплота парообразования, а также коэффициенты теплопроводности материалов стенок и изоляционных материалов.

Программный комплекс может применяться в проектных отделах химических предприятий, а также в учебном процессе при обучении студентов соответствующих специальностей.

Используемая методика расчета:

Для решения задачи теплообмена требуется задать ряд исходных и справочных данных. При выборе вещества из базы данных все его известные теплофизические свойства задаются автоматически. Также допускается их ввод пользователем системы.

Для продукта, если его фазовое состояние не меняется, требуется задать температуру на входе и выходе теплообменника, а также массовый расход. Если фазовое состояние продукта изменяется (продукт конденсируется или испаряется), то необходимо задать его давление (для чистого вещества) или температуру кипения (для смеси), а также массовый расход. Если в теплообменнике происходит подогрев жидкости до температуры кипения и (или) перегрев паров, охлаждение паров до температуры конденсации и (или) переохлаждение конденсата, также необходимо задать температуру на входе и выходе теплообменника.

Для теплоносителя, если его фазовое состояние не меняется, необходимо задать начальную температуру и еще один параметр: конечную температуру либо массовый расход. В случае изменения фазового состояния теплоносителя задается его давление (для чистого вещества) или температура кипения (для смеси).

Расчет требуемой поверхности теплообмена состоит из нескольких этапов:

1. Определение тепловой нагрузки аппарата по продукту, среднего логарифмического температурного напора и средних температур продукта и теплоносителя.
2. Определение из теплового баланса расхода теплоносителя (если задана его конечная температура) либо конечной температуры (если задан расход теплоносителя).

3. Если выбран ориентировочный вид расчета (для кожухотрубчатого теплообменника, внутреннего змеевика или рубашки) или расчет по заданному коэффициенту теплопередачи K_t , производится определение ориентировочной площади поверхности теплообмена. Если выбран поверочный тип расчета, то см. п.5.
4. Предварительный выбор теплообменника по найденной поверхности теплообмена.
5. Определение коэффициентов теплоотдачи для продукта и теплоносителя с использованием критериальных уравнений для соответствующих тепловых процессов, режимов теплоносителей, конструктивных характеристик теплообменника (площадей проходных сечений трубного и межтрубного пространства, геометрического расположения труб и т.д.).
6. Определение температур стенок со стороны продукта и теплоносителя из решения системы уравнений баланса тепловых потоков.
7. Пересчет коэффициента теплопередачи с учетом термических сопротивлений слоев загрязнений стенок со стороны продукта и теплоносителя.
8. Определение расчетной поверхности теплообмена по основному уравнению теплопередачи и окончательный выбор теплообменника.

Расчет коэффициентов теплоотдачи:

Выбор уравнений для уточненного расчета коэффициентов теплоотдачи зависит от характера теплообмена (без изменения агрегатного состояния, кипение или конденсации), от вида выбранной поверхности теплообмена (плоской, трубчатой), от типа конструкции (кожухотрубчатый теплообменник, змеевик, рубашка и др.), от режима движения теплоносителя (турбулентный, промежуточный или ламинарный).

В общем виде критериальная зависимость для определения коэффициентов теплоотдачи имеет вид:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, \dots),$$

где

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \text{ – критерий Нуссельта;}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot d^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \cdot \Delta t \text{ – критерий Грасгофа;}$$

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \text{ – критерий Прандтля;}$$

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} \text{ – критерий Рейнольдса;}$$

β – коэффициент объемного расширения, K^{-1} ;

d – диаметр аппарата, м;

l – геометрический параметр аппарата, м;

c , λ , μ , – удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, динамическая вязкость ($Дж/кг \cdot K$, $Вт/м \cdot K$, $Па \cdot с$, $м^2/с$);

v – скорость потока, м/с;

ρ – плотность конденсата, $кг/м^3$;

Δt – разность температур между стенкой и средой, $^{\circ}K$.

Во многие расчетные формулы для определения коэффициента теплоотдачи в явном или неявном виде входит температура стенки.

Таким образом, в общем виде выражения для расчета коэффициентов теплоотдачи можно записать в следующем виде:

$$\alpha = \frac{\lambda}{l} \cdot f(Re, Pr, Gr, t_{cm} \dots)$$

Ниже приводятся выражения для расчета коэффициентов теплоотдачи, используемые в системе.

Для случая свободной конвекции жидкости или газа (емкостной аппарат без перемешивающего устройства, теплоотдача от тепловой изоляции в окружающий воздух и т.п.) :

$$\alpha = \frac{\lambda}{H} \cdot 1,18 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,125} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Gr \cdot Pr \leq 500;$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{H} \cdot 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } 500 < Gr \cdot Pr \leq 2 \cdot 10^7;$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{H} \cdot 0,135 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7,$$

где H – высота теплообменной поверхности;

$Pr_{ст}$ – значение критерия Прандтля при температуре стенки.

Для случая вынужденного движения жидкости или газа по трубам и каналам (кожухотрубчатый теплообменник, «труба в трубе») :

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \cdot 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Re > 10000 \text{ (турбулентный режим);}$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \cdot 0,0015 \cdot Re^{1,09} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } 2300 \leq Re < 10000 \text{ (переходный режим);}$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \cdot 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Re < 2300 \text{ (ламинарный режим),}$$

где d – внутренний диаметр трубы (эквивалентный диаметр канала).

Для случая поперечного обтекания жидкостью или газом пучка труб (межтрубное пространство кожухотрубчатого теплообменника) :

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_n} \cdot 0,6 \cdot 0,22 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Re \geq 1000 \text{ и в трубной решетке}$$

шахматное расположение труб;

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_n} \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Re \geq 1000 \text{ и в трубной решетке рядное}$$

расположение труб;

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_n} \cdot 0,6 \cdot 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}, \text{ если } Re < 1000,$$

где d_n – наружный диаметр трубы

Для случая кипения жидкости на наружной поверхности пучка труб (кипение в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника) :

$$\alpha = 600 \cdot \Phi \cdot (p \cdot 10^{-6})^{1,33} \cdot (t_{cm} - t)^{2,33},$$

где p – давление паров чистого вещества или смеси, МПа; Φ принимает следующие значения: 1 – для воды, 0,204 – для рассола, 0,155 – для сахара (25%), 0,02 – для бензола, 0,025 – для толуола, 0,074 – для этанола и 0,033 – для метанола.

Для случая кипения жидкости при вынужденном движении в трубах (кипение в трубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника) :

$$\alpha = \left(0.075 + 0.75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho - \rho_n} \right)^{0.6667} \right)^3 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (t_{cm} - t)^2 \cdot \rho}{\mu \cdot \sigma \cdot (t + 273)},$$

где ρ_n - плотность пара, кг/м³;

σ - коэффициент поверхностного натяжения, Н·м.

Для случая конденсации пара в вертикальном аппарате (конденсация в трубном и межтрубном пространстве вертикального кожухотрубчатого теплообменника) :

$$\alpha = 1,15 \cdot \left(\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot 9,807}{\mu \cdot H \cdot (t - t_{cm})} \right)^{0.25},$$

где r – удельная теплота конденсации (парообразования), Дж/кг;

H – рабочая высота вертикальной трубы, м.

Для случая конденсации пара в горизонтальном аппарате (конденсация в трубном и межтрубном пространстве горизонтального кожухотрубчатого теплообменника) :

$$\alpha = 0,72 \cdot \left(\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot 9,807}{\mu \cdot d \cdot (t - t_{cm})} \right)^{0.25}$$

Для случая турбулентного перемешивания в аппарате с механическими мешалками (вертикальный аппарат с перемешивающим устройством) :

$$\alpha = 0,267 \cdot \left(\frac{N \cdot c \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{V \cdot \mu^2} \right)^{0.25},$$

где N – мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт;

V – объём среды в аппарате, м³.

Для случая вынужденного движения жидкости в змеевике, рубашке из полутруб (движение жидкости во внутреннем концентрическом змеевике, рубашке емкостного аппарата, выполненной из труб, полутруб, уголка или швеллера):

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_3} \cdot 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{cm}} \right)^{0,14} \cdot \varepsilon_t,$$

где d_3 – внутренний диаметр трубы змеевика или эквивалентный диаметр канала рубашки, м;

μ_{cm} – динамическая вязкость жидкости при температуре стенки, Па·с;

ε_t – поправка на изогнутость канала змеевика или рубашки.

Для случая конденсации пара в змеевике, рубашке из полутруб (конденсация пара во внутреннем концентрическом змеевике, рубашке емкостного аппарата, выполненной из труб, полутруб, уголка или швеллера) :

$$\alpha = 0,555 \cdot \left(\frac{\lambda^3 \cdot \rho(\rho - \rho_n) \cdot 9,807}{\mu \cdot (t - t_{cm}) \cdot d_3} \cdot (r + 0,68 \cdot c \cdot (t - t_{cm})) \right)^{0,25} \text{ если } \text{Re}_n < 35000;$$

$$\alpha = 0,086 \cdot \frac{\lambda}{d_3} \cdot \left(\left(\sqrt{\frac{\rho}{\rho_n}} + 1 \right) \cdot \frac{4 \cdot G_k}{\mu \cdot \pi \cdot d_3} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{\mu \cdot c}{\lambda} \right)^{0,33} \text{ во всех остальных случаях,}$$

где Re_n – критерий Рейнольдса для пленки конденсата;

G_k – массовый расход конденсата, кг/с.

Для случая движения жидкости в пластинчатом теплообменнике :

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_3} \cdot 0,135 \cdot \text{Re}^{0,73} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{cm}} \right)^{0,25},$$

где d_3 – эквивалентный диаметр каналов пластин теплообменника, м.

Работа с программой. Приемы работы с документами

Каждый документ системы хранится в отдельном файле на диске (файлы документов имеют расширение *.he) и при необходимости загружается в систему (открывается).

Для просмотра текущего списка открытых документов необходимо выбрать в верхнем меню программы пункт «Окно».

Создание.

Для создания нового документа выполните команду верхнего меню Файл – Создать – «Требуемый тип теплообменника». Другим способом создания нового документа является выбор его из меню кнопки Создать (рис.4.1)

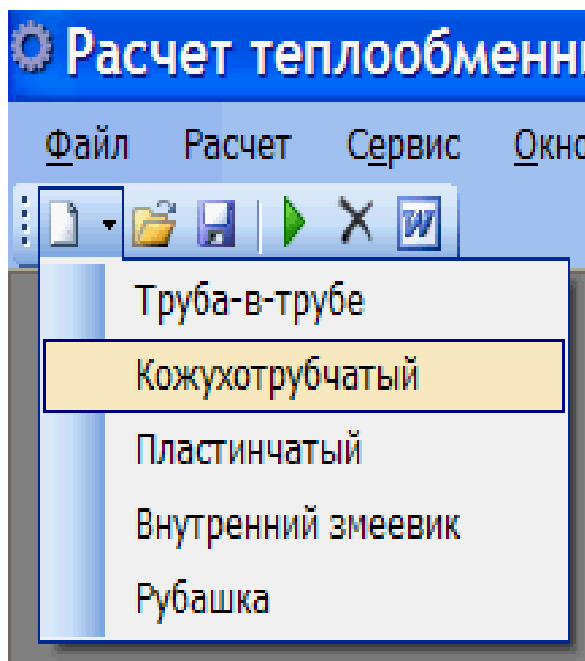


Рис.4.1. Выбор типа теплообменника

После выполнения команды «Создать» в главном окне программы появится новый документ, соответствующий выбранному типу теплообменника.

Открытие.

Чтобы открыть существующий документ, выполните команду верхнего меню «Файл – Открыть». Другим способом открытия документа является щелчок левой клавишей мыши на кнопке «Открыть» на панели инструментов или нажатие сочетания клавиш на клавиатуре «Ctrl+O». В появившемся на экране диалоговом окне укажите имя файла и нажмите кнопку «Открыть».

Сохранение.

Для сохранения документа на диске вызовите команду «Файл – Сохранить». Другим способом сохранения документа является щелчок левой клавишей мыши на кнопке «Сохранить на панели инструментов» или нажатие

сочетания клавиш на клавиатуре «Ctrl+S». Документ будет автоматически сохранен в той же папке и в том же файле, что и в последний раз.

При необходимости Вы можете сохранить документ под другим именем или в другой папке, выполнив команду «Файл — Сохранить как».

Закрытие.

Чтобы закрыть документ, вызовите команду «Файл — Заккрыть». Другим способом закрытия документа является нажатие сочетания клавиш на клавиатуре «Ctrl+W».

Если документ содержит несохраненные изменения, то на экране появится запрос на подтверждение закрытия документа.

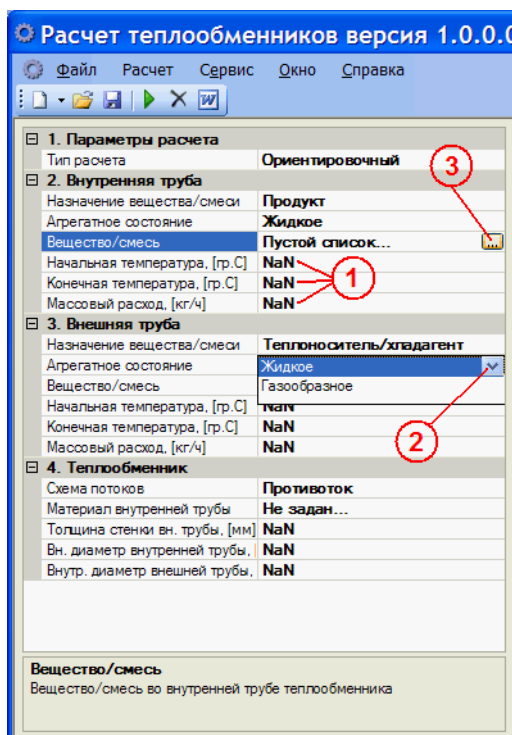


Рис.4.2 Выбор среды

Ввод и редактирование исходных данных после выполнения команды «Создать» в главном окне программы будет создан новый документ, соответствующий выбранному типу теплообменника. Перед тем, как выполнить расчет, необходимо ввести исходные данные. Ввод

осуществляется несколькими способами. Например, такие исходные данные как начальная температура, конечная температура, массовый расход, геометрические характеристики теплообменника вводятся непосредственно с клавиатуры. По умолчанию таким характеристикам присваивается значение «NaN» – (англ. Not-a-Number), буквальный перевод – «не число», т.е. фактически «никакое», пустое значение.

Такие данные, как тип расчета, назначение вещества/смеси, агрегатное состояние выбираются из выпадающих списков.

Выбор вещества/смеси для продукта и теплоносителя, материала стенки, материала изоляции для рубашек осуществляется при помощи диалоговых окон, которые открываются при нажатии на кнопку.

Диалоговое окно «Смесь веществ» позволяет задавать характеристики смеси нескольких веществ: добавлять, изменять или удалять компоненты смеси, задавать массовую долю каждого компонента, вводить наименование смеси в поле текстового ввода.

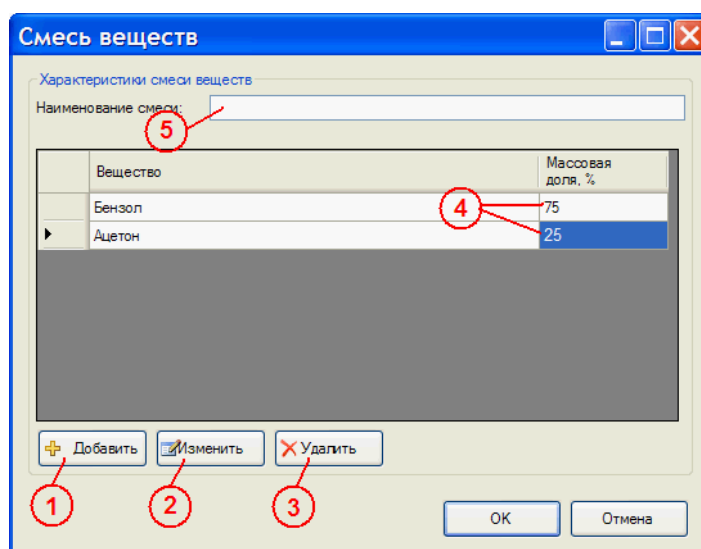


Рис.4.3. Определение вещества и его массовой доли

Если наименование смеси не введено, то оно формируется автоматически на основе введенных наименований компонентов, например, так: «Бензол (75); Ацетон (25)».

После нажатия на кнопку «Добавить» или «Изменить» откроется диалоговое окно «Вещество» (рис 4.3).

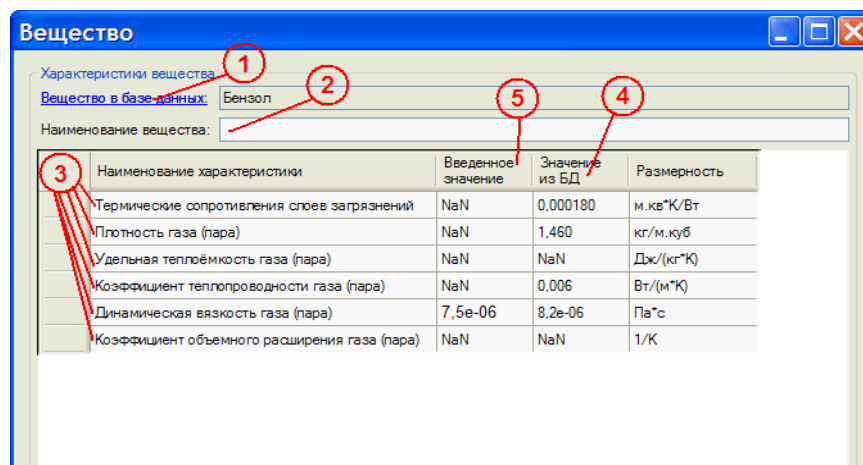


Рис.4.4. Выбор вещества из базы данных

С помощью этого диалогового окна можно изменять теплофизические характеристики веществ. Щелчок на ссылке Вещество в базе данных откроет диалоговое окно, позволяющее выбрать требуемое вещество из справочника. В текстовом поле можно задать наименование вещества. Если наименование вещества не задано, то будет использовано наименование из справочника. Список характеристик в таблице зависит от вида теплового процесса, агрегатного состояния вещества. Колонка «Значение из БД» (значение из базы данных) используется как индикатор наличия/отсутствия соответствующей характеристики в справочнике. Если значение в этой колонке равно «NaN», то характеристики в справочнике нет, иначе отображаются значения при 25°С и давлении 0,1 МПа. Колонка «Введенное значение» позволяет задать значение соответствующей характеристики, для чего необходимо сделать двойной щелчок левой клавишей мыши в соответствующую ячейку. Если характеристика есть и в справочнике, и введена в колонку «Введенное значение» (в данном примере значение динамической вязкости газа (пара) из справочника равно 8,2e-06, а введенное значение равно 7,5e-06), то при расчете будет использоваться введенное значение 7,5e-06. Чтобы вернуться к использованию значения из справочника, нужно ввести вместо 7,5e-06 значение NaN или 0.

Выполнение расчетов.

Рассчитать

Чтобы начать расчет теплообменника, выполните команду верхнего меню «Расчет – Рассчитать». Другим способом выполнения расчета является щелчок левой клавишей мыши на кнопке «Рассчитать» на панели инструментов или нажатие клавиши F5 на клавиатуре. После этого осуществится автоматическая проверка введенных данных, и если все данные введены корректно, то будет запущена процедура расчета теплообменника. Ход расчета и конечный результат будет выведен в окно расчета.

Очистить окно расчета

Чтобы очистить окно расчета, выполните команду верхнего меню «Расчет – Очистить окно расчета» или выполните щелчок левой клавишей мыши на кнопке «Очистить окно расчета» на панели инструментов. Следует отметить, что окно расчета очищается автоматически при каждом выполнении команды «Рассчитать».

Передать в MS Word

Чтобы передать содержимое окна расчета в текстовый редактор Microsoft Word, выполните команду «Расчет – Передать в MS Word» или выполните щелчок левой клавишей мыши на кнопке «Передать в MS Word» на панели инструментов. При этом на компьютере пользователя должен быть установлен Microsoft Word 2003 или более поздней версии.

Настройки программы

Чтобы открыть диалоговое окно «Параметры программы», выполните команду «Сервис – Параметры».

Открывшееся диалоговое окно позволяет изменять параметры шрифтов заголовков различных уровней и текста. Для этого необходимо щелкнуть левой клавишей мыши на соответствующую ссылку, после чего откроется

стандартное системное диалоговое окно «Шрифт». Все изменения отображаются в окне просмотра (рис.4.5).

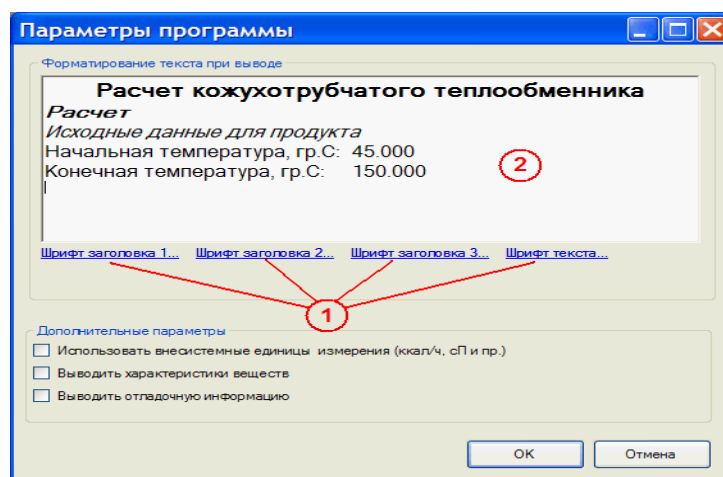


Рис.4.5. Расчет кожухотрубчатого теплообменника

Также в этом окне можно задать дополнительные параметры. Если отмечен флажок «Использовать внесистемные единицы измерения», то в окне расчета и при вводе исходных данных будут использоваться внесистемные единицы измерения: вместо $\text{Па}\cdot\text{с}$ – сП ; вместо $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{K})$ – $\text{ккал}/(\text{ч}\cdot\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; вместо $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{K})$ – $\text{ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; вместо $\text{м.кв}\cdot^\circ\text{K} / \text{Вт}$ – $\text{м.кв.}\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{ч}/\text{ккал}$; вместо $1/^\circ\text{K}$ – $1/^\circ\text{C}$; вместо $\text{Дж}/\text{кг}$ – $\text{ккал}/\text{кг}$; вместо $\text{Вт}/(\text{м.кв.}\cdot^\circ\text{K})$ – $\text{ккал}/(\text{ч}\cdot\text{м.кв.}\cdot^\circ\text{C})$. Замечание: в данной версии программы работа со справочником веществ (ввод новых характеристик в базу данных и редактирование существующих) осуществляется только в системных единицах.

Если отмечен флажок «Выводить характеристики веществ», то в окно расчета будут дополнительно выводиться значения всех теплофизических характеристик продукта и теплоносителя при их средней температуре соответственно.

Если отмечен флажок «Выводить отладочную информацию», то в окно расчета будут дополнительно выводиться некоторые промежуточные значения переменных и прочая информация, полезная при отладке программы и поиске ошибок.

Справочник характеристик веществ.

Для выполнения теплового расчета требуется большое количество справочных данных о теплофизических свойствах используемых рабочих сред, включающих в себя плотность, вязкость, удельную теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент объемного расширения, коэффициент поверхностного натяжения, удельную теплоту парообразования. Все эти характеристики зависят от температуры.

Значения характеристик веществ представлены в реляционной базе данных на основе парадигмы «объект-свойство-значение». В окне интерфейса пользователя справочника данные представлены в виде иерархии (слева направо) Вещество → Зависимость → Значения зависимости.

В таблице «Вещество» хранится следующая информация: «Наименование вещества» (например, «Бензол»); «Назначение вещества» (одно из трех возможных значений: «Рабочая среда и теплоносители»; «Материалы стенки» или «Изоляционные материалы»); флажок «Не отображать» (если вещество из справочника временно не используется, то его можно не удалять из базы данных, а пометить как неотображаемое).

В таблице «Зависимость» хранится следующая информация: Наименование зависимости (например, «Динамическая вязкость паров аммиака от температуры»); Определяющая характеристика (как правило, это температура «Температура t , [гр.С]»); Зависимая характеристика (например, «Динамическая вязкость газа (пара) μ , [Па·с]»). Значения определяющей и зависимой характеристики представляют собой идентификаторы, взятые из справочника характеристик.

В таблице «Значения зависимости» хранятся пары значений $X \leftrightarrow Y(X)$ (Значение определяющей характеристики $\leftrightarrow$ Значение зависимой характеристики).

Чтобы открыть окно работы со «Справочником характеристик веществ», выполните команду Сервис – Характеристики веществ.

Стандартные команды для работы с данными.

Добавить новую запись. После выполнения этой команды открывается диалоговое окно, в котором нужно ввести необходимые значения полей новой записи.

Редактировать текущую запись. После выполнения этой команды открывается диалоговое окно, в котором можно отредактировать поля текущей записи.

Удалить текущую запись. После выполнения этой команды откроется диалоговое окно для подтверждения удаления текущей записи.

Обновить данные. После выполнения этой команды происходит повторное считывание содержимого таблиц из базы данных.

4.2. ТЕХНОЛОГИЯ 3D ПЕЧАТИ

3D печать – это выполнение ряда повторяющихся операций, связанных с созданием объёмных моделей путём нанесения на рабочий стол установки тонкого слоя расходных материалов, смещением рабочего стола вниз на высоту сформированного слоя и удалением с поверхности рабочего стола отработанных отходов. Циклы печати непрерывно следуют друг за другом: на предыдущий слой материалов наносится следующий слой, стол снова опускается и так повторяется до тех пор, пока на элеваторе (так называют рабочий стол, которым оснащён 3D принтер) не окажется готовая модель.

Существует несколько технологий 3D печати, которые отличаются друг от друга по типу прототипирующего материала и способам его нанесения. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие технологии 3D печати: стереолитография, лазерное спекание порошковых материалов, технология струйного моделирования, послойная печать расплавленной полимерной нитью, технология склеивания порошков,

ламинирование листовых материалов и УФ-облучение через фотомаску. Охарактеризуем перечисленные технологии подробнее.

4.2.1. ТЕХНОЛОГИЯ СТРУЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Технология моделирования или InkJetModelling имеет следующие запатентованные подвиды: 3D Systems (Multi-JetModeling или MJM), PolyJet (ObjetGeometries или PolyJet) и Solidscape (Drop-On-Demand-Jet или DODJet).

Перечисленные технологии функционируют по одному принципу, но каждая из них имеет свои особенности. Для печати используются поддерживающие и моделирующие материалы. К числу поддерживающих материалов чаще всего относят воск, а к числу моделирующих – широкий спектр материалов, близких по своим свойствам к конструкционным термопластам. Печатающая головка 3D принтера наносит поддерживающий и моделирующий материалы на рабочую поверхность, после чего производится их фотополимеризация и механическое выравнивание.

Технология струйного моделирования позволяет получить окрашенные и прозрачные модели с различными механическими свойствами, это могут быть как мягкие, резиноподобные изделия, так и твёрдые, похожие на пластики.

Преимущества данной технологии:

- быстрая 3d печать;
- точное воспроизводство прототипов;
- высокая прочность построения прототипа.

Недостатки: печатает только с использованием фотополимера, дорогой пластик.

4.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ В AUTOCAD

Программа «AutoCAD» позволяет быстро и эффективно создавать различные проекты с помощью мощных систем документации. Программа «AutoCAD» многократно сокращает время на проверку чертежей. Для промышленного двухмерного проектирования данная программа предлагает самые эффективные инструменты. Специализированные, мощные графические пакеты, которые создаются на базе данной программы, отлично подходят для архитекторов и строителей.

4.3.1. ОСНОВНЫЕ КОМАНДЫ AUTOCAD

ЦИЛИНДР

Центр основания или [3Т/2Т/ККР/Эллиптический]:

Радиус основания или [Диаметр] <2.0000>: 2

Высота или [2Точки/Конечная точка оси] <100.0000>: 100

Команда: выч

ВЫЧИТАНИЕ Выберите тела, поверхности и области, из которых будет выполняться вычитание

Выберите объекты:

Возобновляется команда ВЫЧИТАНИЕ.

Выберите объекты:

Возобновляется команда ВЫЧИТАНИЕ.

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты:

Выберите тела, поверхности или области для вычитания ..

Выберите объекты:

Возобновляется команда ВЫЧИТАНИЕ.

Выберите объекты:

Возобновляется команда ВЫЧИТАНИЕ.

Выберите объекты:

Возобновляется команда ВЫЧИТАНИЕ.

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты:

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/Выход]:

Для пересечения выбрано избыточное число объектов

Команда: *Прервано*

Команда: _u '.3DPAN2

Команда: _u '.3DPAN2

Команда: _u '.3DPAN2

Команда: _u '.ОПЕРАЦИЯ ВИДОВОГО КУБА

Команда: _u '.ACGZDRAGACTION

Команда:

Команда: ВЫБРАТЬ

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты:

Команда:

ВЫБРАТЬ

Найдено: 1

Команда:

ВЫБРАТЬ

Найдено: 1

Команда:

ВЫБРАТЬ

Найдено: 1

Команда: *Прервано*

Команда: *Прервано*

Команда: ВЫЧ

ВЫЧИТАНИЕ Выберите тела, поверхности и области, из которых будет выполняться вычитание

Выберите объекты: *Прервано*

Команда: *Прервано*

Команда: *Прервано*

Команда: *Прервано*

Команда: *Прервано*

Команда: ВЫБРАТЬ

Выберите объекты: *Прервано*

Команда: ВЫЧ

ВЫЧИТАНИЕ Выберите тела, поверхности и области, из которых будет выполняться вычитание

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты: найдено: 1 (1 повторно), всего: 1

Выберите объекты:

Выберите тела, поверхности или области для вычитания

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты:

Тела, поверхности или области не выбраны.

Команда: _group найдено: 2

Создана группа без имени.

Команда: _u '.3DPAN2

Команда: _u INTELLIZOOM INTELLIZOOM

Команда: _u Группа ГРУППА

Команда: _u '.3DPAN2

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/Выход]:

Прервано

Команда: _u '.ACGZDRAGACTION

Команда: _u

Команда: _u INTELLIZOOM INTELLIZOOM INTELLIZOOM INTELLIZOOM
INTELLIZOOM

Команда: _u ВЫЧИТАНИЕ

Команда: _u ВЫБРАТЬ

Команда: _u ВЫЧИТАНИЕ

Команда: _u ВЫБРАТЬ

Команда: _u ВЫБРАТЬ

Команда: _u ВЫБРАТЬ

Команда: _u INTELLIZOOM INTELLIZOOM

Команда: _u ВЫБРАТЬ

Команда: _u INTELLIZOOM INTELLIZOOM INTELLIZOOM

Команда: _undo Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 '.3DPAN2

Команда: _undo Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 INTELLIZOOM
INTELLIZOOM

Команда:

Команда:

Команда: _undo Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1

Команда: _undo Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 '.3DPAN2

Команда: `_.undo` Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 '.3DPAN2

Команда: `_.undo` Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 INTELLIZOOM
INTELLIZOOM INTELLIZOOM INTELLIZOOM INTELLIZOOM

Команда: `_.undo` Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 ВЫЧИТАНИЕ

Команда: `_.undo` Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 ЦИЛИНДР

Команда: `_.undo` Текущие настройки: Авто = Вкл, Управление = Все,
Объединить = Есть, Слой = Есть

Количество отменяемых операций или

[Авто/Управление/Начало/Конец/Метка/Обратно] <1>: 1 ВЫЧИТАНИЕ

Команда: `_.copyclip` найдено: 1

Команда: `_.pasteclip` Точка вставки: 0.0

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]:

Возобновляется команда `GRIPTOOL_EDIT`.

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]: 150

Команда: `_.u '.ACGZDRAGACTION`

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]: 145

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Прервано

Команда: *Прервано*

Команда: ВЫЧ

ВЫЧИТАНИЕ Выберите тела, поверхности и области, из которых будет выполняться вычитание

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 2

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 3

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 4

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 5

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 6

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 7

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 8

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 9

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 10

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 11

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 12

Выберите объекты:

Выберите тела, поверхности или области для вычитания ..

Выберите объекты: найдено: 1

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 2

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 3

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 4

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 5

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 6

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 7

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 8

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 9

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 10

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 11

Выберите объекты: найдено: 1, всего: 12

Выберите объекты:

Команда: _group найдено: 3

Создана группа без имени.

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:

Прервано

Команда: *Прервано*

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:

Прервано

Команда:

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:

Прервано

Команда: *Прервано* **** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]: 10 ******

ПЕРЕНЕСТИ **

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:

Прервано

Команда: _erase найдено: 7

Команда: _u СТЕРЕТЬ

Команда: _erase найдено: 2 **** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:

Для пересечения выбрано избыточное число объектов

Команда: _u '.ACGZDRAGACTION**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]: 30

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Команда: *Прервано*

Команда: `_.erase` найдено: 1

Команда: `_.erase` найдено: 1

Команда: `_.erase` найдено: 1

Команда: `_.erase` найдено: 1

Команда: `_.erase` найдено: 1

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]: 100

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Прервано

Команда: *Прервано*

Команда: `_copyclip` найдено: 1

Команда: `_pasteclip` Точка вставки: 0.0

Команда: `_u` ВСТБУФЕР ГРУППА

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Команда: `_group` найдено: 2

Создана группа без имени.

Команда: `_copyclip` найдено: 2

Команда: `_pasteclip` Точка вставки:

>>Новое значение ORTHOMODE <0>:

Возобновляется команда ВСТБУФЕР.

Точка вставки: 0.0

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/Отменить/выход]:

Прервано

Команда: *Прервано*

Команда:

Команда: `_u ' .ACGZDRAGACTION`

Команда: `_u`

Команда: `_u ' .3DPAN2`

Команда: `_u` ВСТБУФЕР ГРУППА

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]:

Прервано

Команда: _pasteclip Точка вставки: 0,0,0

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]:

Прервано

**** ПЕРЕНЕСТИ ****

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]:

Возобновляется команда GRIPTOOL_EDIT.

Точка переноса или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/выХод]:

Команда: *Прервано** ПОВОРОТ **

Угол поворота или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/ОПорный/выХод]:

180 Команда: *Прервано*

Команда: _u '.ACGZDRAGACTION

Команда: _group найдено: 3

Создана группа без имени.

**** ПОВОРОТ ****

Угол поворота или [Базовая точка/Копировать/ОТменить/ОПорный/выХод]:

180 Команда: *Прервано*

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Неверное определение рамки.

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Команда: *Прервано*

Команда: _SAVEAS

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Команда: _erase найдено: 4

Команда: _u СТЕРЕТЬ

Команда: _erase найдено: 7

Команда: Задайте противоположный угол или [Линия/РМн-угол/СМн-угол]:

Команда: `_erase` найдено: 1

4.3.2. 3Dмодель в программе AutoCAD

3D модели детали кожухотрубчатого теплообменника представлены на рис. 4.6, 4.7, 4.8, 4.9

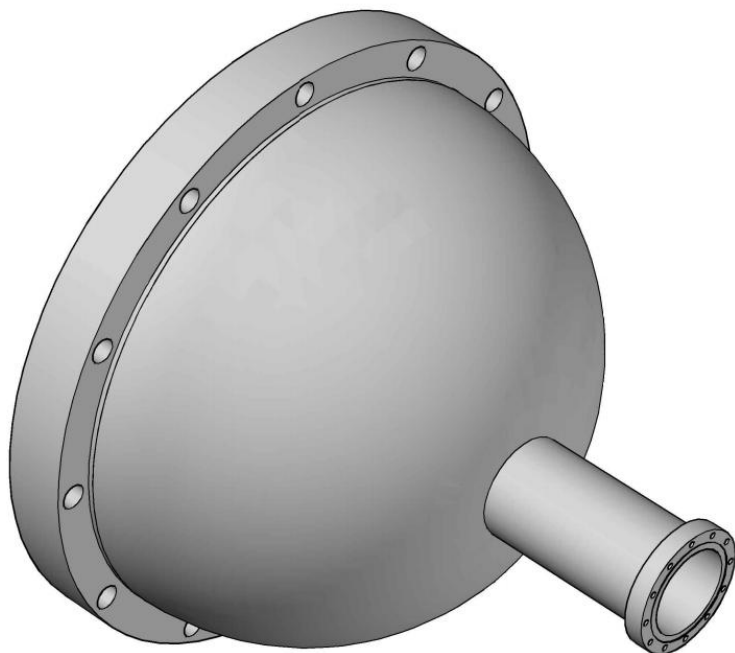


Рис.4.6. Крышка и днище кожухотрубчатого теплообменника

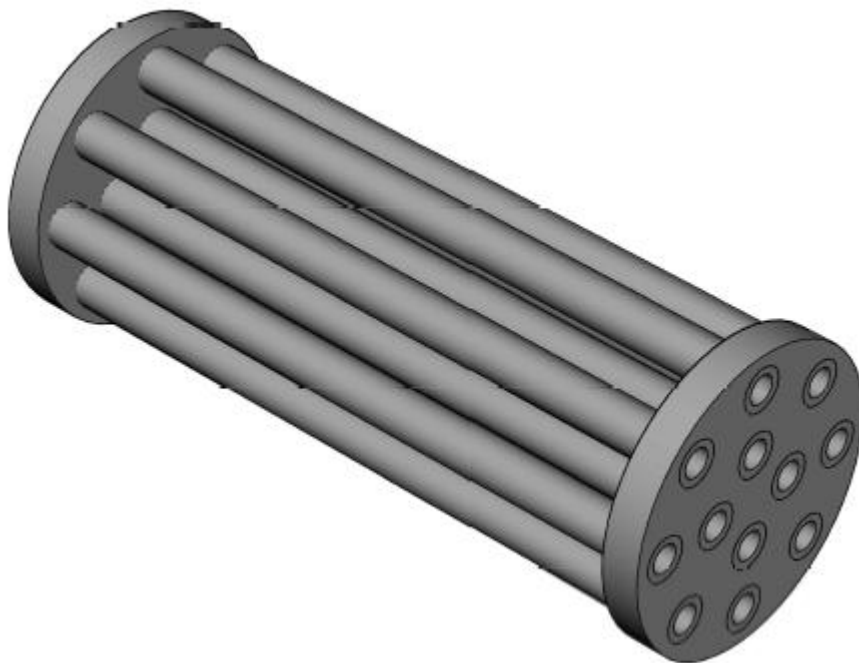


Рис.4.7 Трубчатая решётка с трубками кожухотрубчатого теплообменника

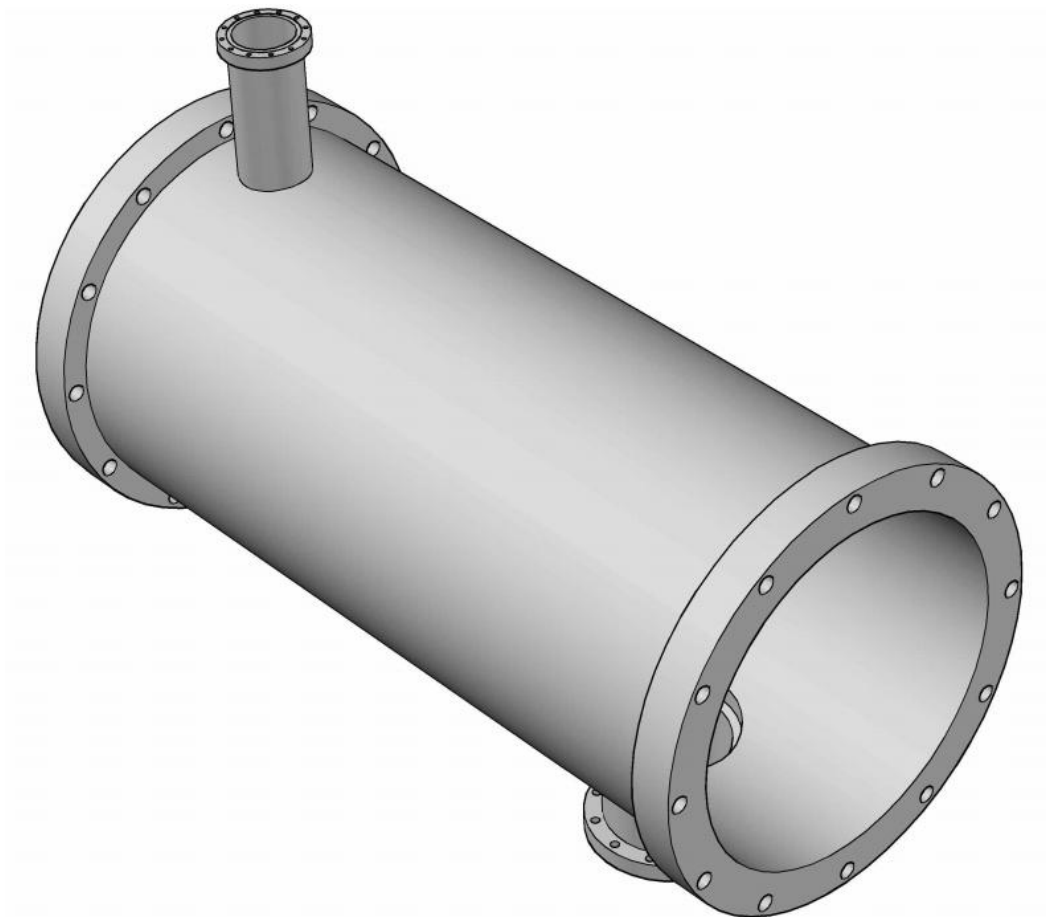


Рис.4.8. Корпус кожухотрубчатого теплообменника

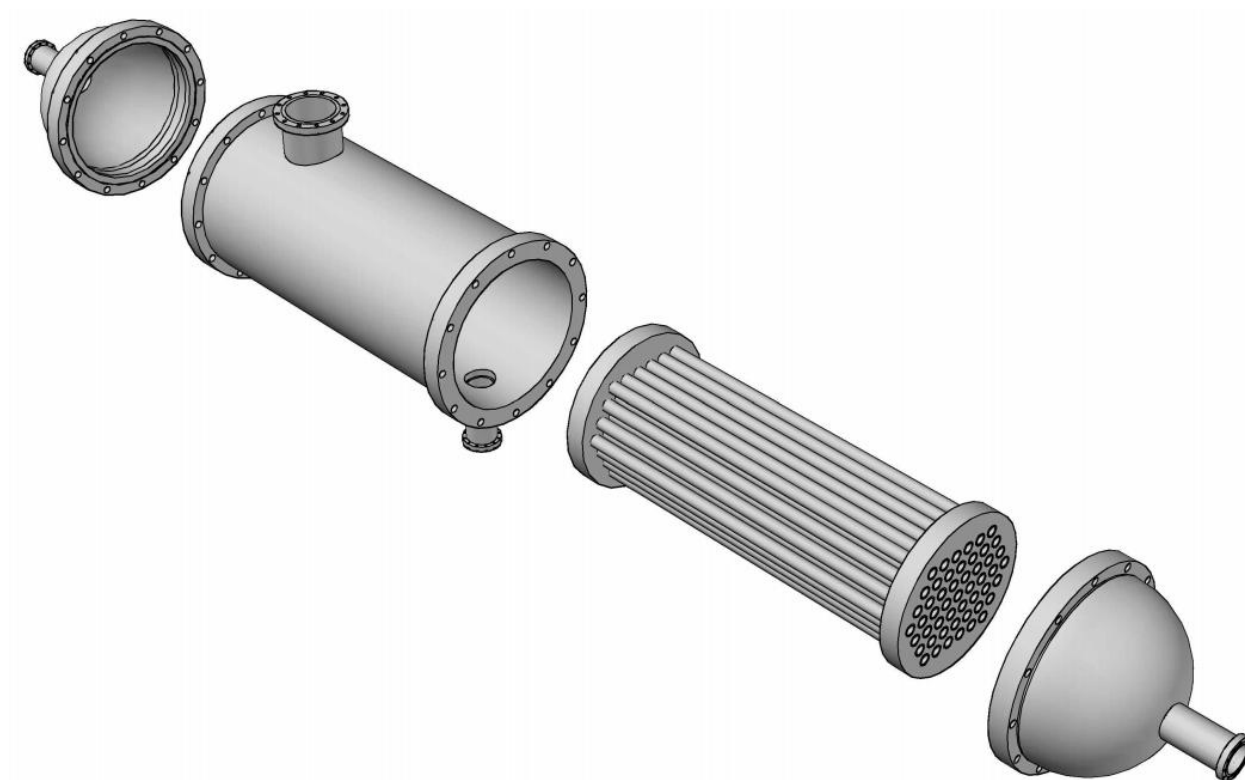


Рис.4.9. Кожухотрубчатый теплообменник

4.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ

Предварительно в контроллер должны быть загружены инструкции, определяющие последовательность перемещений экструдера и платформы для печати конкретного объекта. Они подготавливаются на компьютере с помощью специальной программы. Используя цифровую трехмерную модель объекта, программа производит его разбивку на слои и формирует G-код – последовательность управляющих сигналов для формирования каждого слоя. Эта программа также добавляет поддержки для нависающих частей, которые после завершения печати необходимо будет удалить. Дело в том, что пластик застывает не мгновенно, так что если верхний слой будет значительно выступать над нижним, печатаемый предмет будет деформироваться.

Импорт модели в ReplicatorG

Принтер поддерживает следующие типы файлов STL, OBJ, Gcode. Вы можете использовать ПО такое как Rhinoceros, Solidworks, Sketchup, UG, и.т.д. для преобразования в эти форматы.

Нажмите File->Open для открытия файла модели.

Перемещение, масштаб, вращение и оценка времени печати

1. После открытия файла модели вы можете разместить ее на печатном столе. Примечание: убедитесь, что модель находится внутри области печати. Модель может быть увеличена при помощи колеса прокрутки мышки. Вы можете вращать модель, нажав на колесо прокрутки мышки и перемещая ее.

Пять кнопок управления моделью:

Вид: выбор перспективы просмотра модели. Вид сверху, вид спереди, вид справа.

Перемещение: Поместите модель в центр рабочей платформы. Если модель не видна после открытия, нажмите кнопку Center. Поместите модель на платформе так, чтобы она находилась на ее поверхности, а не над ней или под ней. Обязательно проверьте это. Вращение: Вы можете вращать модель как в ручном режиме, зажав модель клавишей мышки, а также используя кнопки вращения. Расположить на платформе: функция размещает модель на печатной платформе, рекомендуем использовать перед печатью. Вращение вокруг оси координат Z: вращает модель вокруг оси Z, зажав клавишей мышки, перемещайте объект.

Зеркальное отражение: Отражение по оси X, отражение по оси Y, отражение по оси Z.

Масштабирование: Введите коэффициент масштабирования. Вводя значение меньше единицы, ваша модель уменьшится. Вводя значение больше единицы, ваша модель увеличится. Нажав «FilltheBuildArea» программа создаст максимально возможно большую модель, которая может разместиться в печатном поле принтера.

2. Для оценки времени печати нажмите GCode->TimeEstimate. Через 10 секунд время, необходимое для изготовления модели, появится в строке состояния.

Генерация GCode (Slicing)

1. Нажмите кнопку «GenerateGCode» в правом нижнем углу окна программы. Если после открытия модель была изменена, появится окно с предложением сохранить изменения.
2. После нажатия на кнопку «GenerateGCode» появится окно с настройками генерации.
3. После завершения генерации кода, вы увидите, что появится вкладка с Gcode.

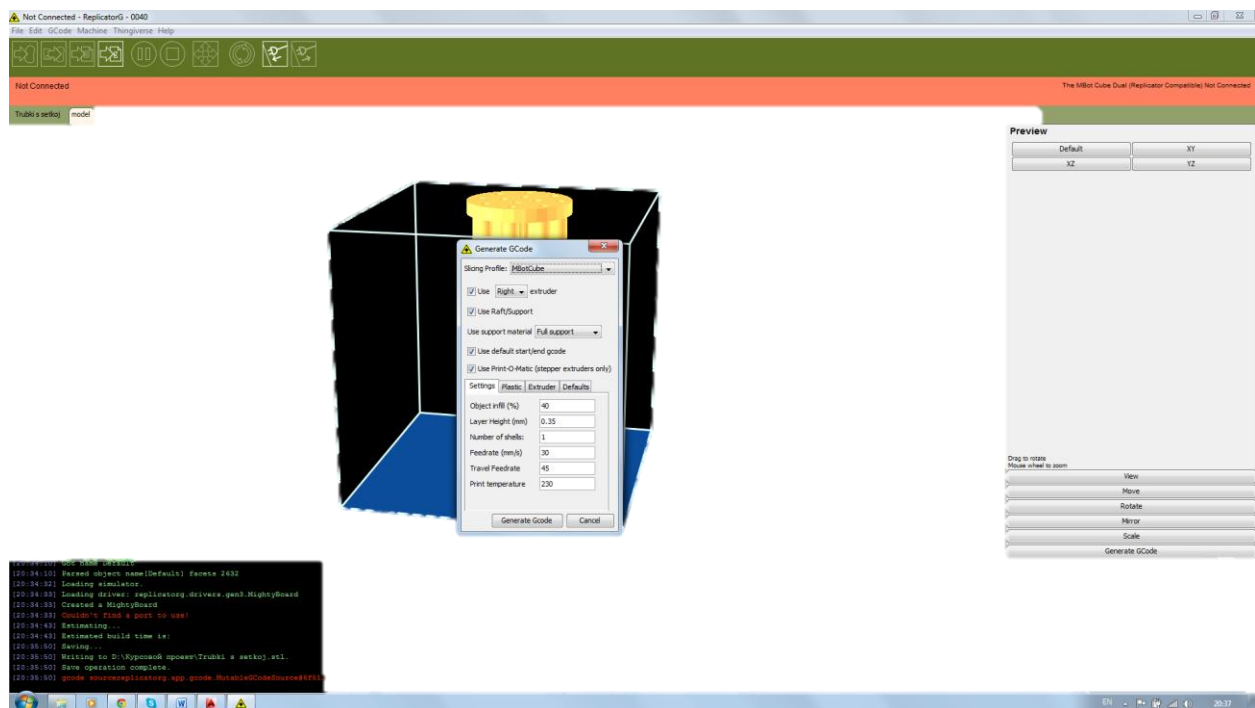


Рис.4.10. Настройка генерации

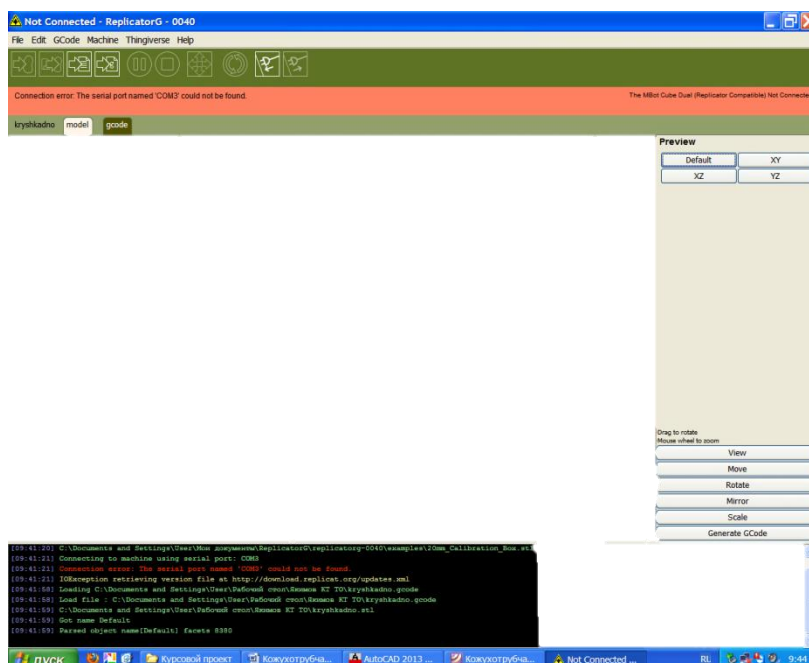


Рис.4.11. Крышка и днище в программе ReplicatorG

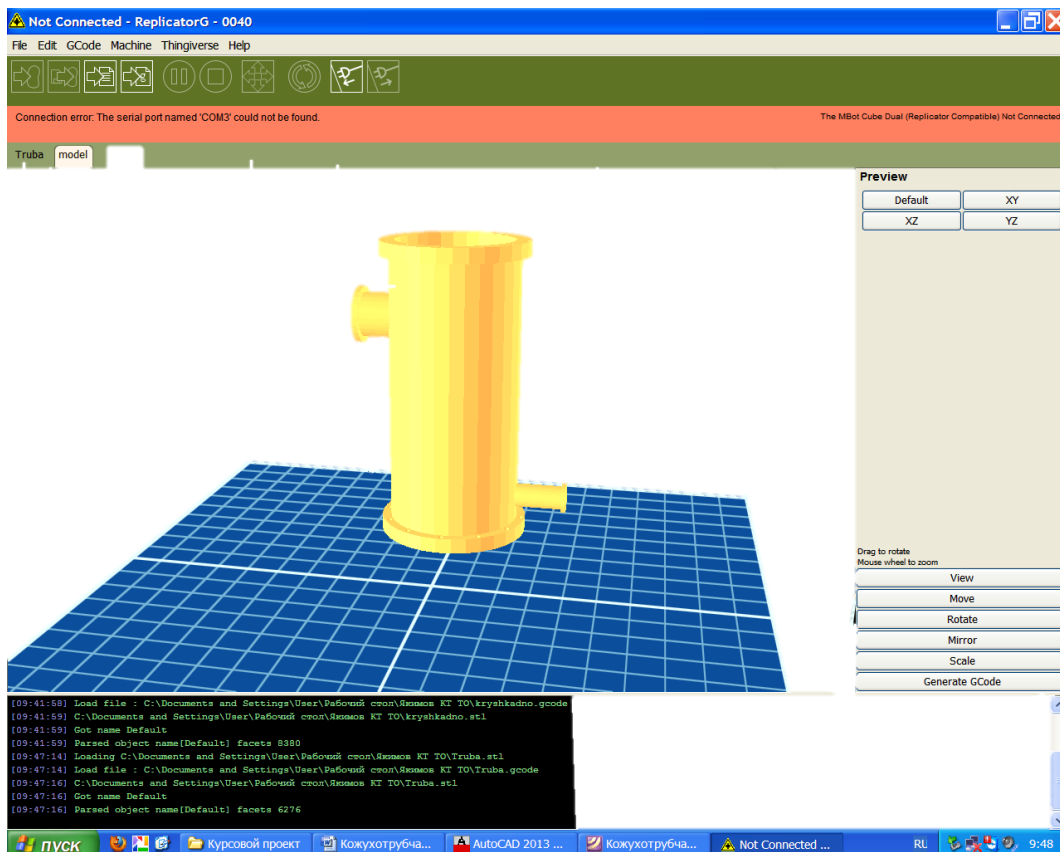


Рис.4.12. Корпус в программе ReplicatorG

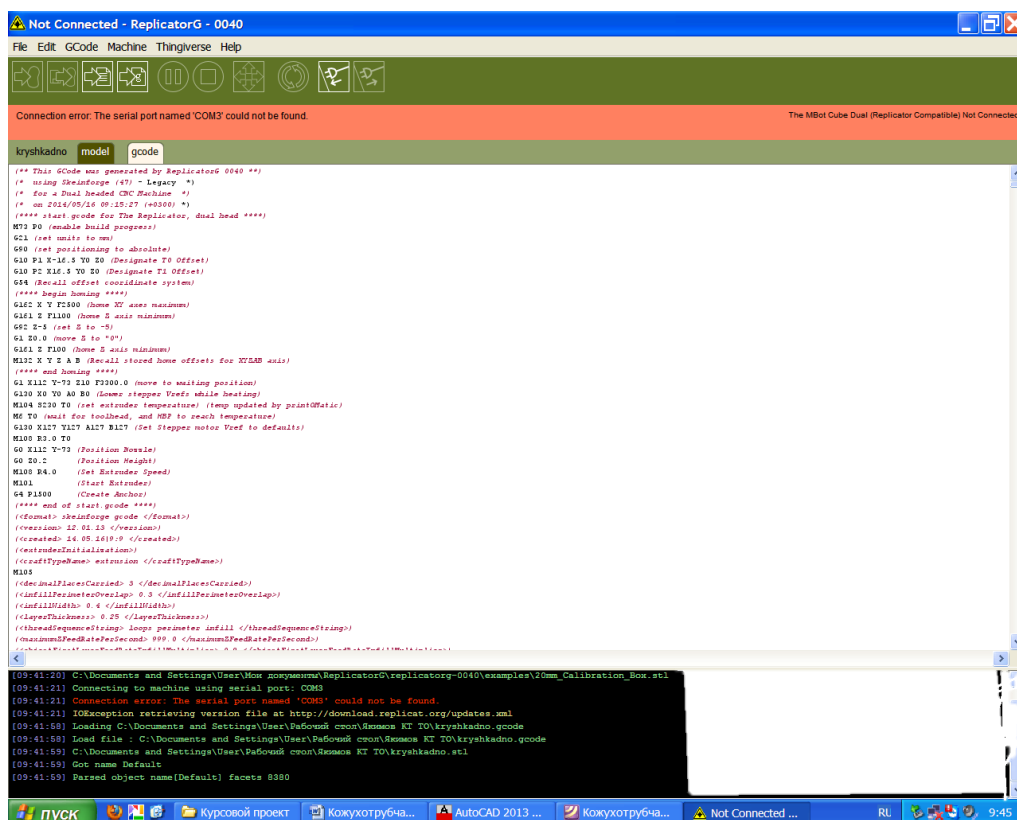


Рис.4.13. Gcode крышки и днища

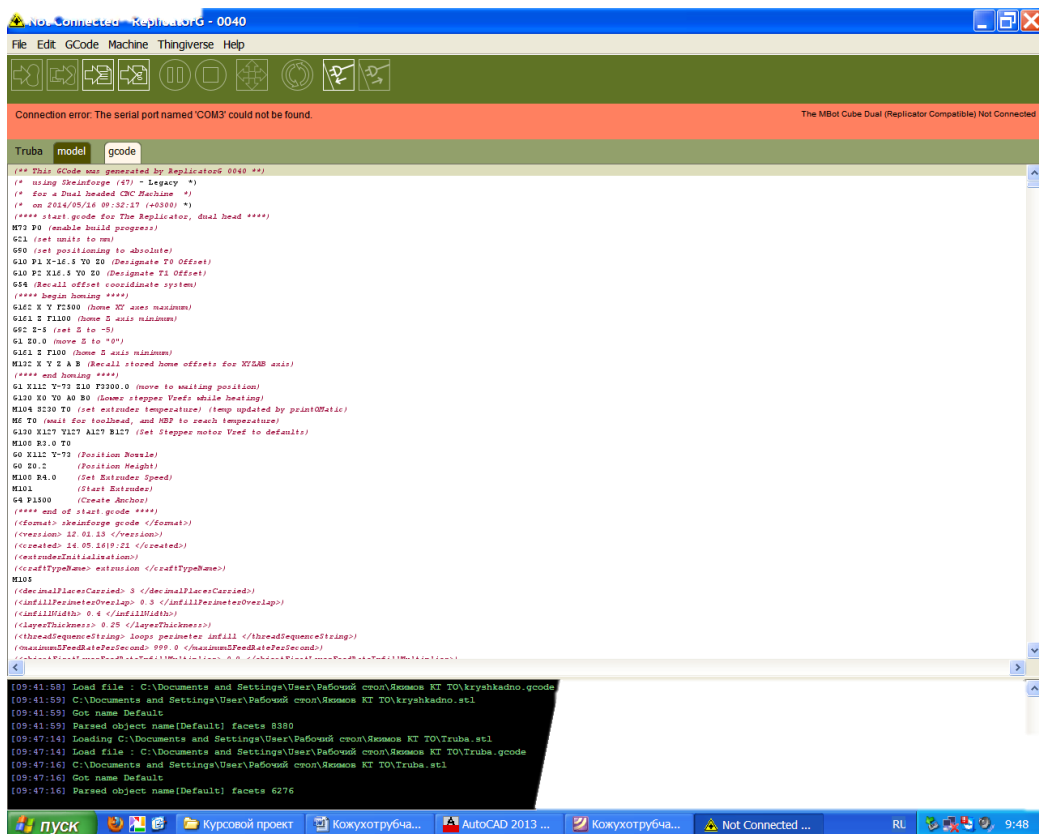


Рис.4.14. Gcode корпуса

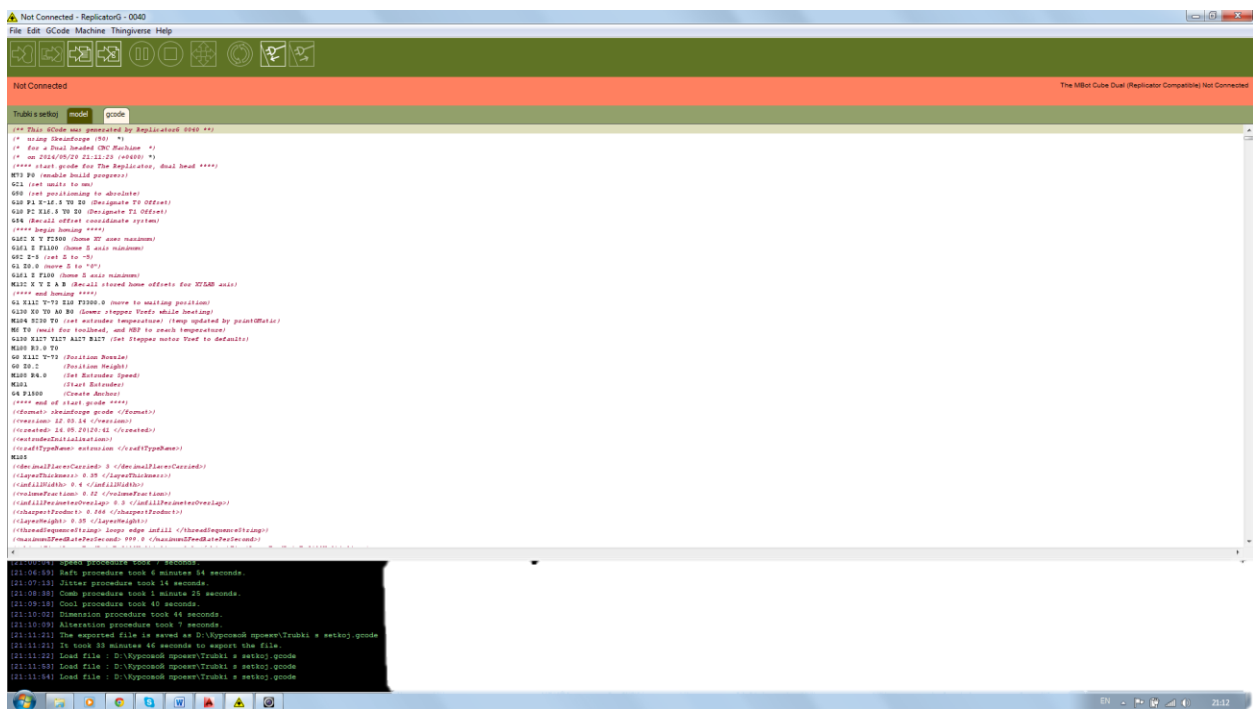


Рис.4.15. Gcode трубной решётки с трубками

4.4.1.ВЫБОР РЕЖИМА ПЕЧАТИ

Механика работы 3D принтера не так сложна. Принцип работы основан на выдавливании нагретого пластика из сопла печатающей головки на платформу. В 3D принтере стандартными материалами (т.е. те, которые используются давно и изначально) являются ABS-пластик (акрилонитрил-бутадиен-стирол) и PLA-пластик (полимолочная кислота). ABS, например, широко применяется при производстве конструкторов Lego, имеет химический состав и требует работы при чуть более высоких температурах (по сравнению с PLA). При производстве пластика PLA используется кукуруза и сахарный тростник. PLA-пластик твердый (и негибкий) и с блестящей поверхностью, если сравнивать с ABS. У большинства принтеров одна печатающая головка (и соответственно одно сопло)— в таком случае напечатанный объект будет одноцветным. Для получения разноцветного объекта нужно сменить нить в таком принтере. Такой принтер как Replicator 2X имеет 2 печатающие головки. Предмет при распечатке получается двухцветным. Имеются заявления от некоторых производителей выпустить принтер, который распечатывает многоцветные объекты.

Печатная поверхность и печатающая головка «работают вместе», чтобы печатать объект в трехмерном направлении. Печатающая головка подвешена на порталных системах. Печатающая головка размещается на двух верхних перекладинах и может двигаться вдоль них. С краю у принтера имеются 2 другие перекладины, которые соединяются с двумя вышеупомянутыми. Это позволяет им двигаться вперед-назад, и печатающая головка двигается в итоге в 4 направлениях (вправо-влево и назад-вперед). Печатающая поверхность движется вверх и вниз, «добавляя» третье измерение (направление). Есть необычные 3D системы вроде DeltaMaker, где сама печатающая головка движется в трехмерном пространстве.

Редуктор протягивает нить через печатающую головку. Перед выдавливанием через сопло нить проходит по нагретой трубке, при этом происходит плавление материала и его выход через сопло головки. Выдавливаемый материал размещается слоями. Печать происходит послойно. Слои моментально затвердевают. Подобная технология печати получила название аддитивной, и производство подобных изделий называется аддитивным производством. Это означает, что один слой пластика накладывается за один раз. Аддитивное производство противопоставляется традиционному обрабатывающему производству, где изделия получаются за счет механической обработки. При печати ABS пластиком используется разогретая поверхность, иначе нижний слой изделия начинает скручиваться (сморщиваться). При PLA можно использовать обычную поверхность, которая не требует нагрева.

Пластик для печати поставляется в виде катушки с намотанной (на эту катушку) нитью, толщина которой варьируется от 1,75 мм до 3 мм, однако, толщина получаемого слоя составляет не менее 0,1мм. В таком случае, возникает вопрос — на сколько же предметов хватит одной катушки ? Как пример - из 1 кг такой «нити» можно напечатать 392 шахматные фигуры. Катушка крепится на самом принтере. Нить подается с катушки в печатающую головку.

Процесс печати занимает минуты, часы, а иногда и даже дни. Все зависит от размера объекта, плотности, которую нужно выдавать при печати используемого пластика. Пример - чтобы напечатать скульптуру размером 350 см x 350 см x 250 см потребовалось 2 месяца. Печать осуществлялась на 7 принтерах класса Type A Machines.

Скорость экструдера определяет скорость печати, следовательно, она зависит от тех же параметров. Стоит обращать внимание на 3D принтеры, скорость экструдера которых не менее 20 м/с.

Температура плавления зависит напрямую от используемого материала. Например, температура плавления ABS-пластика составляет 240°C – 248°C,

при печати ледяных моделей, температура составляет -22°C , при использования нейлона температура достигает 320°C .

4.4.2. КАЛИБРОВКА СТОЛА

Перед тем как начать печать, нужно выбрать и нанести покрытие для стола, на котором оно осуществляется. Покрытие необходимо, поскольку пластик (ABS, PLA) плохо пристает к материалам, из которых обычно изготовлен стол (стекло, алюминий).

Для печати PLA в качестве покрытия лучше всего подходит синий малярный скотч. Клеится очень легко, без пузырей (клеить нужно встык), и так же легко снимается. Такого покрытия обычно хватает на две-три печати, после чего его нужно обновить.

Для ABS обычно используют полиамидную ленту, больше известную под названием “Kaptontape”. Стоит существенно дороже малярного скотча, но и хватает её дольше.

Есть и более экзотические варианты, например использование матового стекла, или нанесение лака для волос на стол перед печатью.

Перед печатью необходимо отрегулировать высоту и уровень стола так, чтобы зазор между соплом и столом везде был одинаковый. Этот этап очень важен, поскольку неправильная регулировка стола не даст возможности нормально напечатать первый слой, а с ним и все остальные. Вся регулировка производится при рабочей температуре хотэнда и стола (обычно это где-то $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$ для хотэнда и $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$ для стола). Это связано с тем, что при нагревании зазор уменьшается из-за расширения материалов стола и хотэнда.

Первое, что нужно сделать - это отрегулировать положение концевика оси Z так, чтобы в "домашнем" положении по оси Z (Z координата равна нулю) зазор между соплом и столом составлял около 0,5-1мм.

Дальнейшая регулировка осуществляется с помощью четырех болтов, удерживающих стол на пружинах. Сначала стол и каретка перемещаются так,

чтобы сопло было в одном из углов стола. Затем, вращением болтов нужно добиться того, чтобы в щель между соплом и столом проходил лист бумаги. При этом лист должен ходить не свободно, а с небольшим усилием. Эту процедуру нужно повторять для каждого из углов до тех пор, пока зазоры везде не станут одинаковыми (т.е. лист бумаги будет проходить примерно с одинаковым усилием). Использование листа бумаги помогает выставить везде одинаковый маленький зазор примерно в толщину листа (около 0,1мм).

Подача пластика осуществляется путем продавливания «пластиковой нити» цилиндрическим многогранником в разогретый до заранее установленной температуры экструдер. Сама нить крепится на катушке, которая, в свою очередь, размещена на одной из внешних стенок 3D принтера.

5. САМОПРОВЕРКА

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

6. КОНСУЛЬТАЦИИ

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

7. ПОДГОТОВКА К ЭКЗАМЕНАМ И ЗАЧЕТАМ

Изучение многих общепрофессиональных и специальных дисциплин завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

Экзаменационная сессия - это серия экзаменов, установленных учебным планом. Между экзаменами интервал 3-4 дня. Не следует думать, что 3-4 дня достаточно для успешной подготовки к экзаменам.

В эти 3-4 дня нужно систематизировать уже имеющиеся знания. На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. Во-первых, очень важно соблюдение режима дня; сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчиваются не позднее, чем за 2-3 часа до сна. Оптимальное

время занятий, особенно по математике - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, неустойчивые занятия спортом. Во-вторых, наличие хороших собственных конспектов лекций. Даже в том случае, если была пропущена какая-либо лекция, необходимо вовремя ее восстановить (переписать ее на кафедре), обдумать, снять возникшие вопросы для того, чтобы запоминание материала было осознанным. В-третьих, при подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Здесь можно эффективно использовать листы опорных сигналов.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом листы опорных сигналов.

Правила подготовки к зачетам и экзаменам:

- лучше сразу сориентироваться во всем материале и обязательно расположить весь материал согласно экзаменационным вопросам (или вопросам, обсуждаемым на семинарах), эта работа может занять много времени, но все остальное – это уже технические детали (главное – это ориентировка в материале!);
- сама подготовка связана не только с «запоминанием». Подготовка также предполагает и переосмысление материала, и даже рассмотрение альтернативных идей;
- готовить «шпаргалки» полезно, но пользоваться ими рискованно. Главный смысл подготовки «шпаргалок» – это систематизация и оптимизация знаний по данному предмету, что само по себе прекрасно – это очень сложная и важная для студента работа, более сложная и важная, чем простое поглощение массы учебной информации. Если студент самостоятельно подготовил такие «шпаргалки», то, скорее всего, он и экзамены сдавать будет

более уверенно, так как у него уже сформирована общая ориентировка в сложном материале;

- как это ни парадоксально, но использование «шпаргалок» часто позволяет отвечающему студенту лучше демонстрировать свои познания (точнее – ориентировку в знаниях, что намного важнее знания «запомненного» и «тут же забытого» после сдачи экзамена);

- сначала студент должен продемонстрировать, что он «усвоил» все, что требуется по программе обучения (или по программе данного преподавателя), и лишь после этого он вправе высказать иные, желательно аргументированные точки зрения.

8.РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

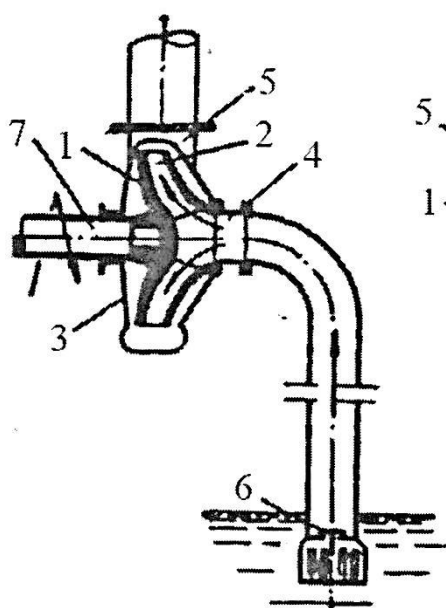


Рис. 1

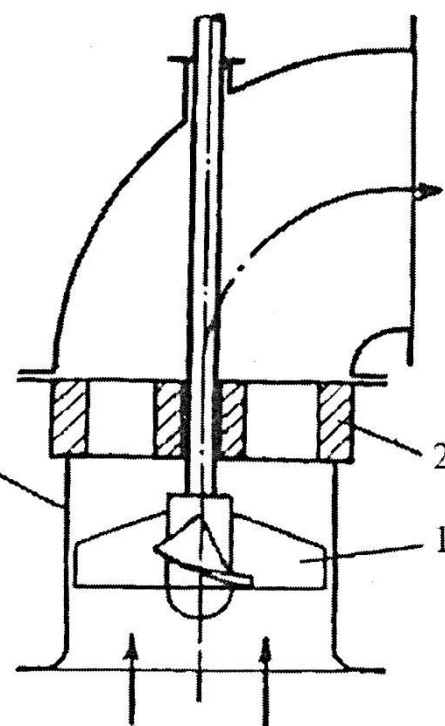
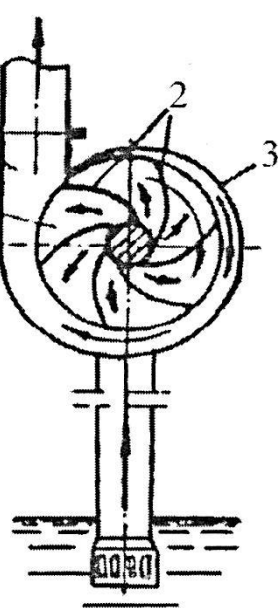


Рис. 3

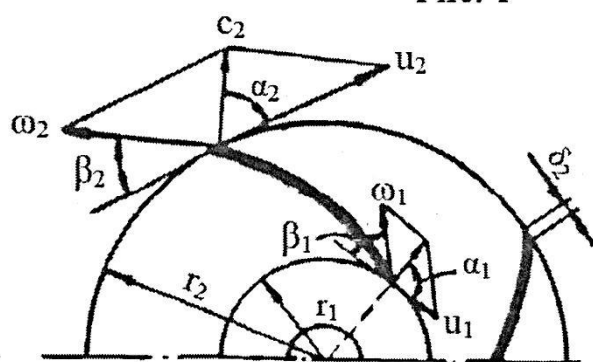


Рис. 4

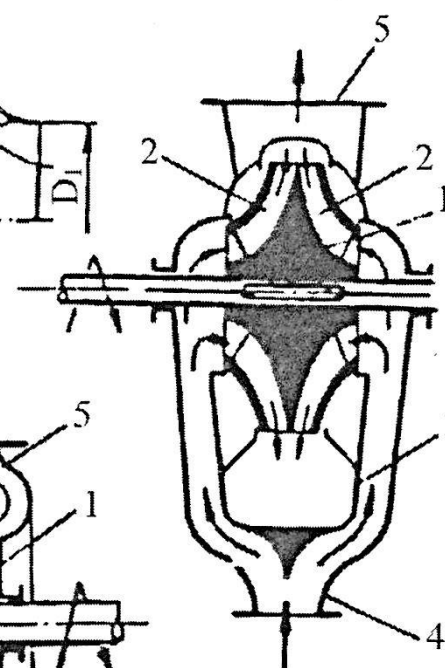
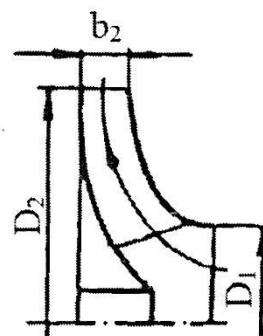


Рис. 6

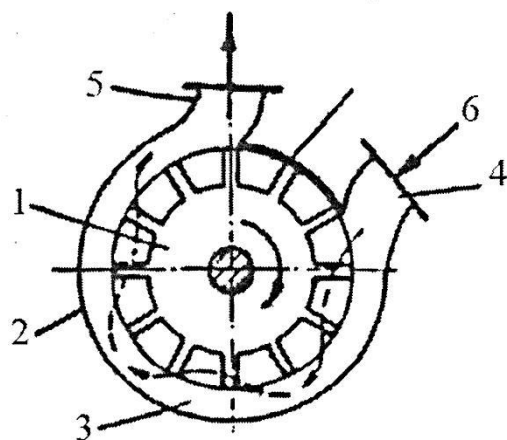
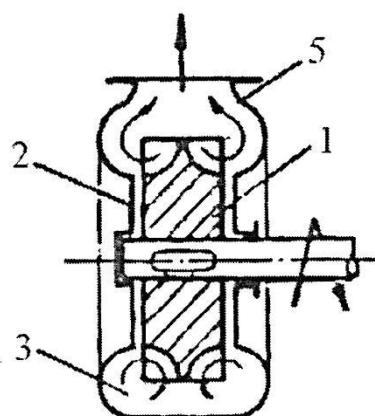


Рис. 7



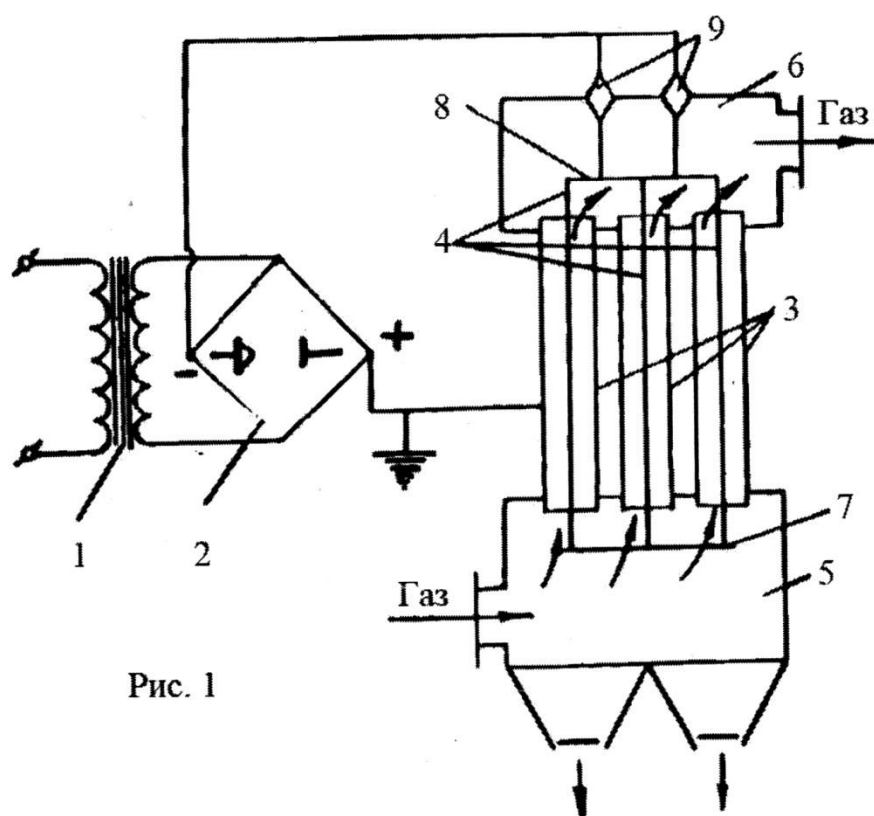


Рис. 1

Уловленные частицы

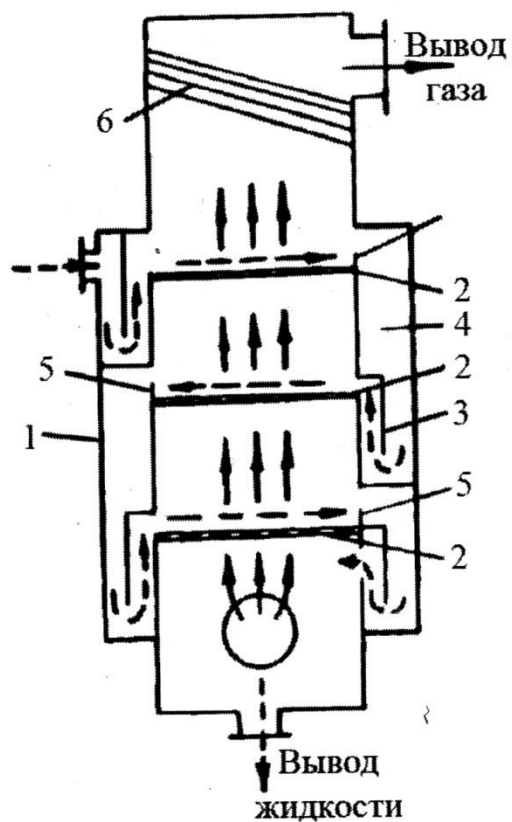


Рис. 2

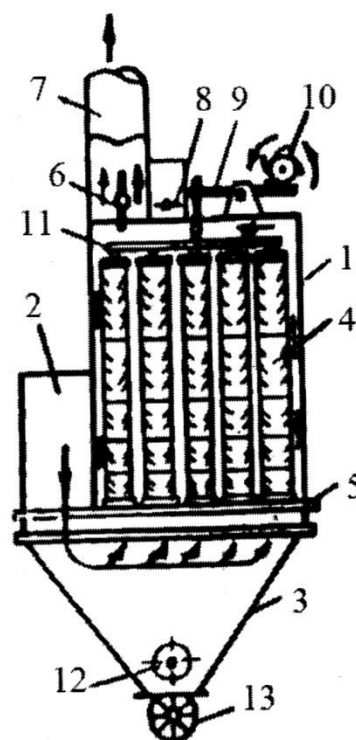


Рис. 3

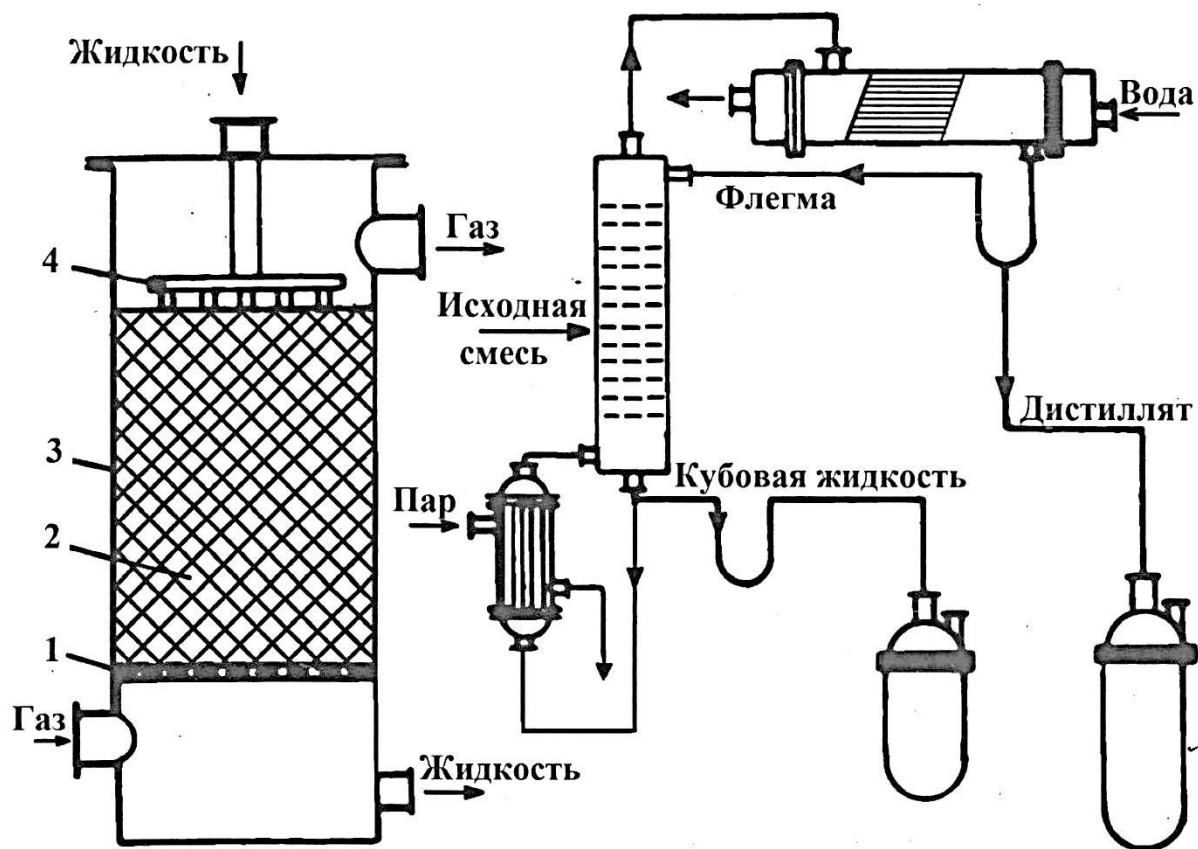


Рис.1

Рис.2

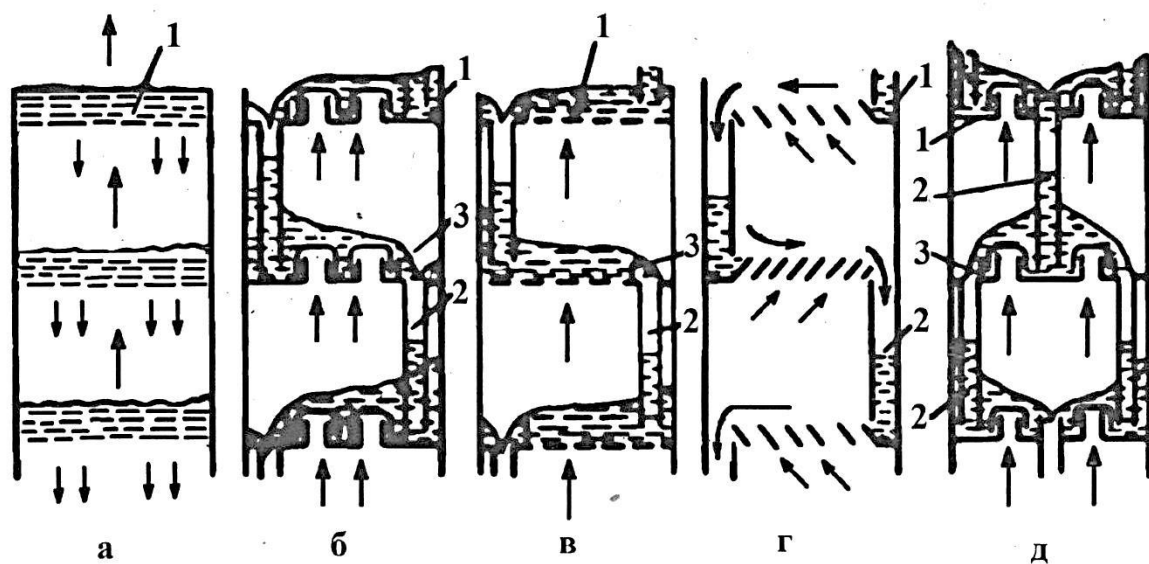


Рис.3

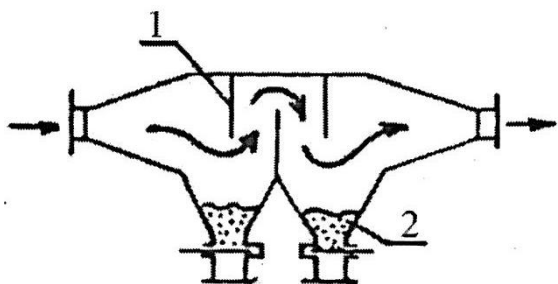


Рис. 1

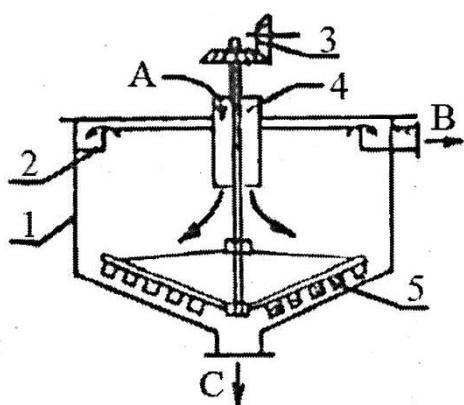


Рис. 2

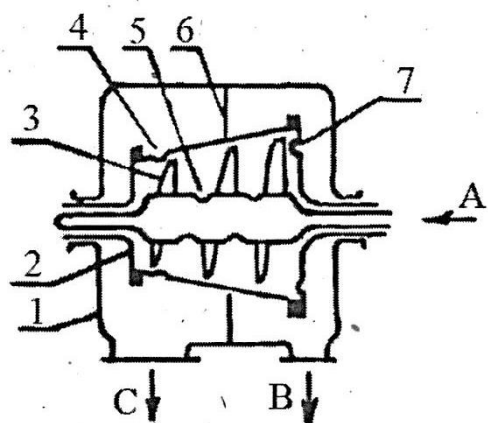


Рис. 4

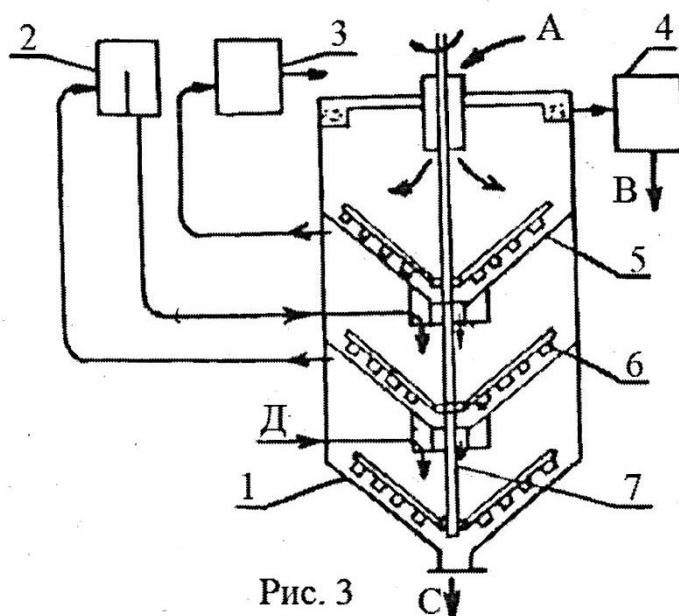


Рис. 3

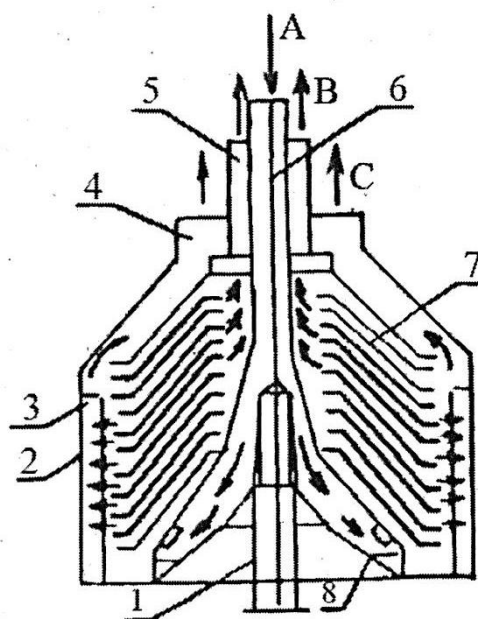


Рис. 5

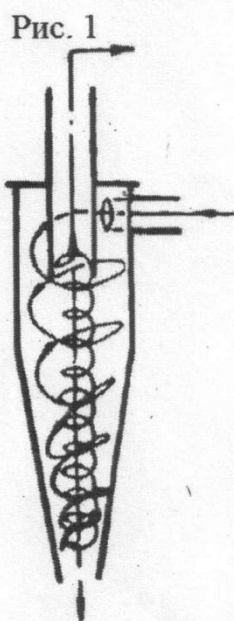
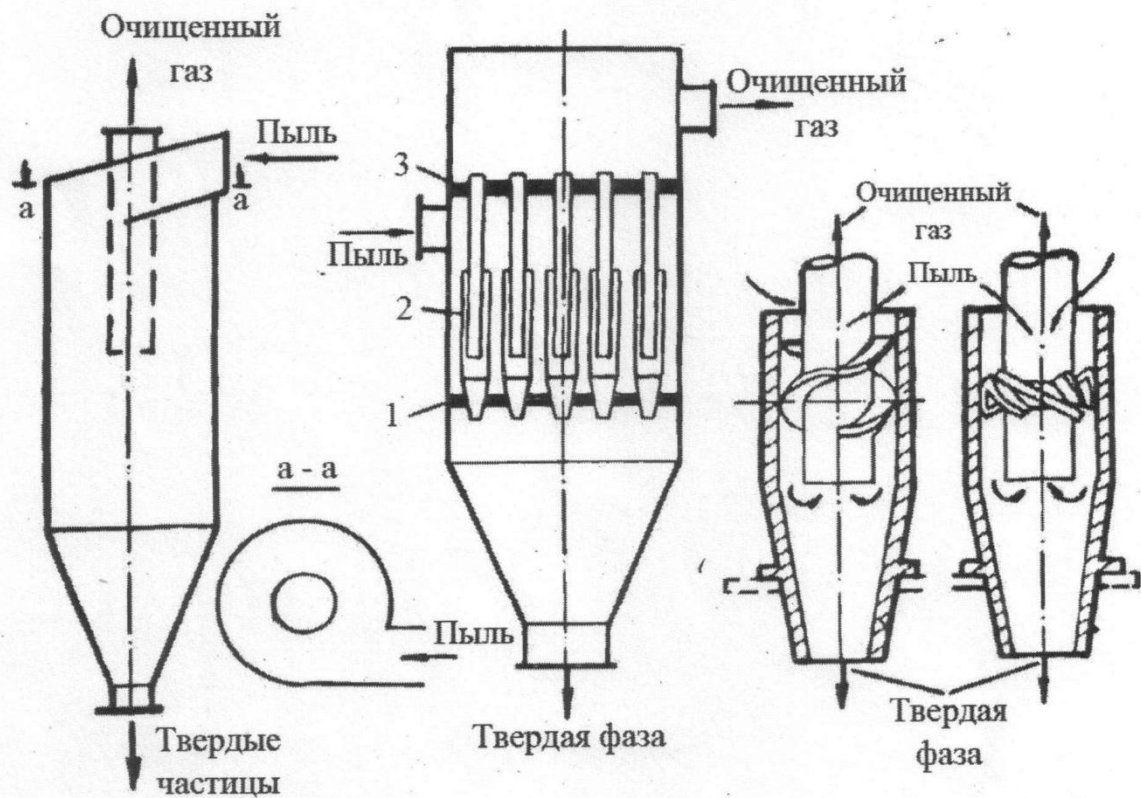


Рис. 4

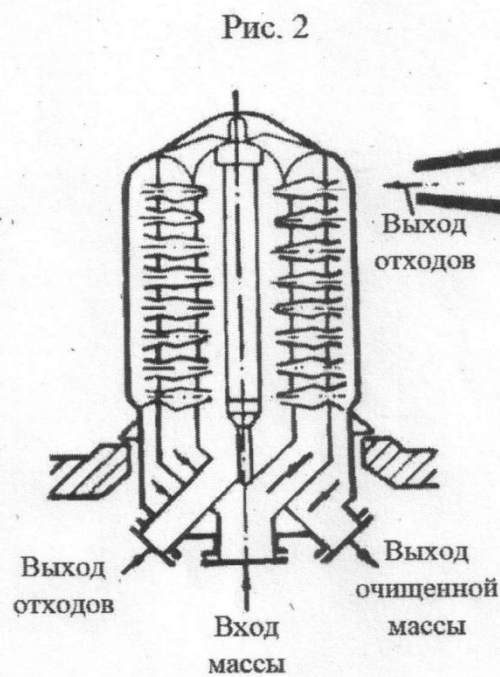


Рис. 5

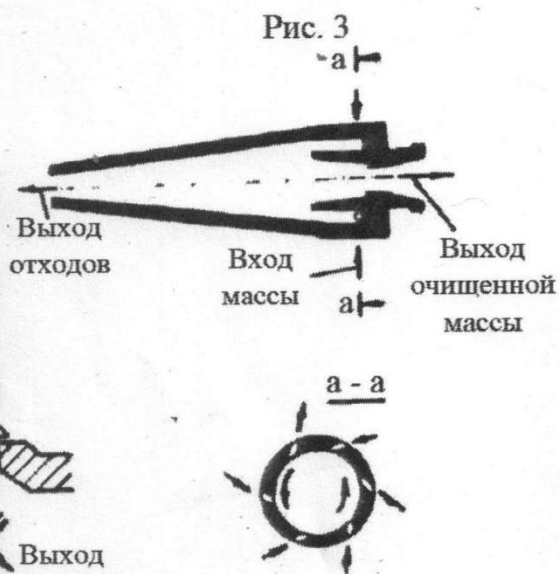


Рис. 6

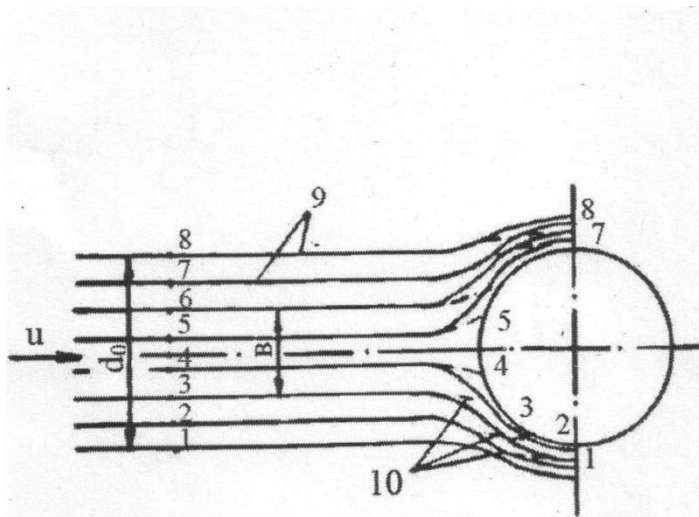


Рис. 1

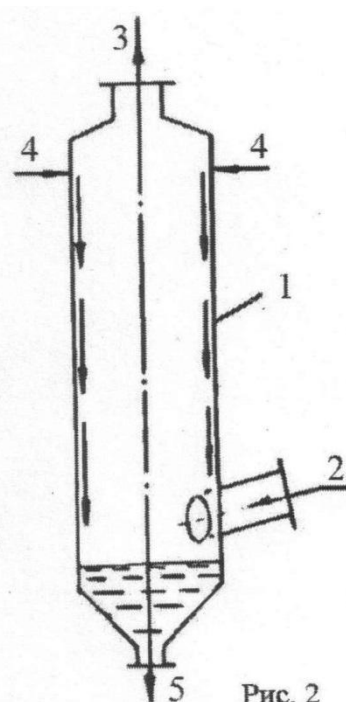


Рис. 2

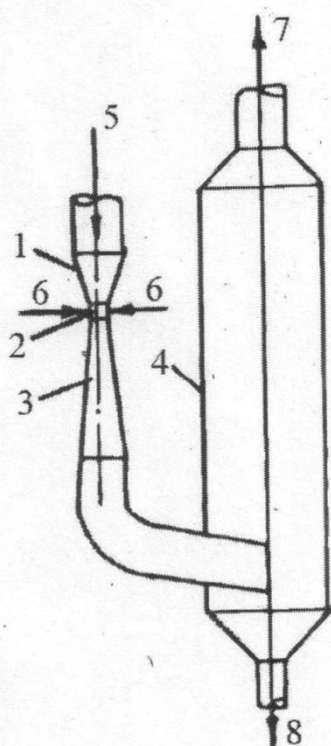


Рис. 3

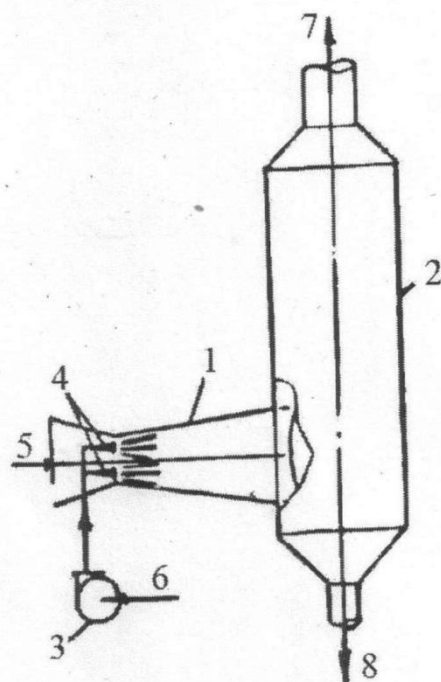


Рис. 4

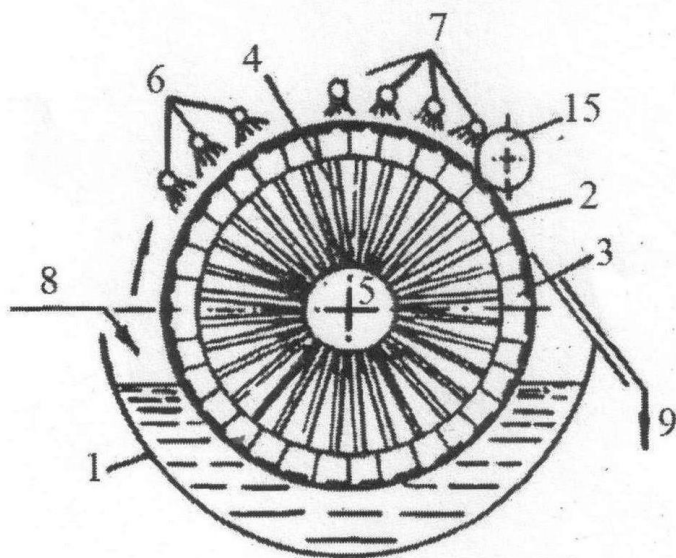


Рис. 1

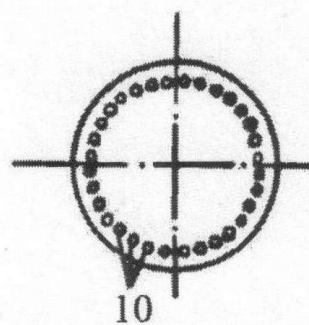


Рис. 2

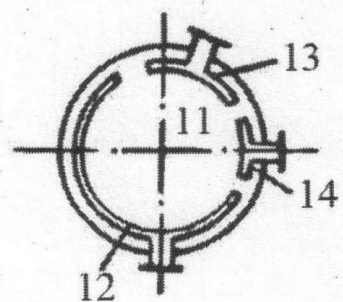


Рис. 3

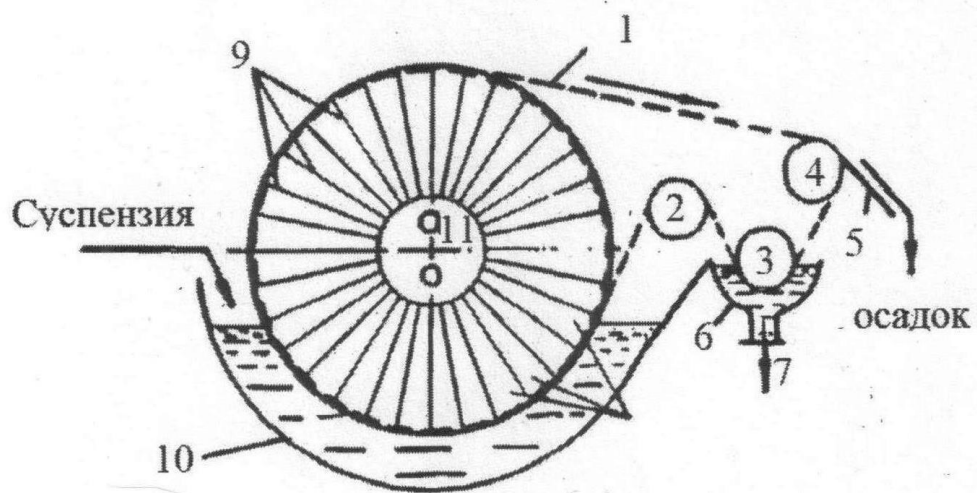


Рис. 4

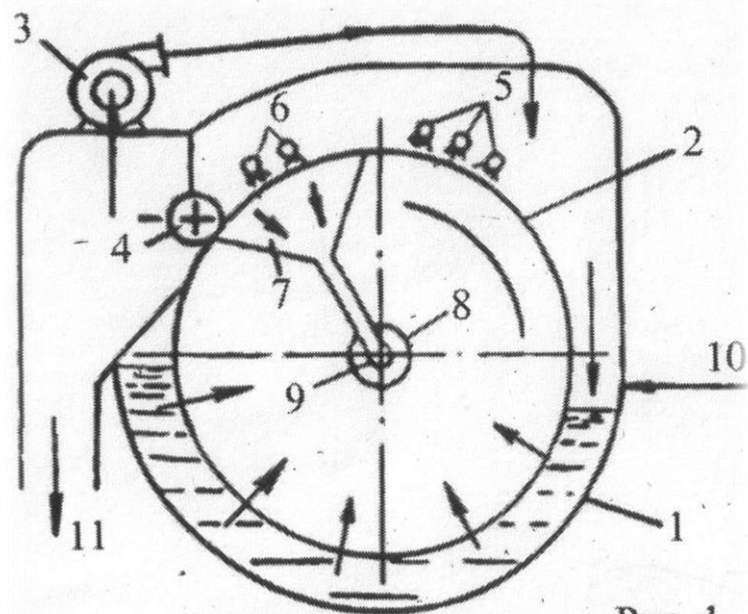


Рис. 1

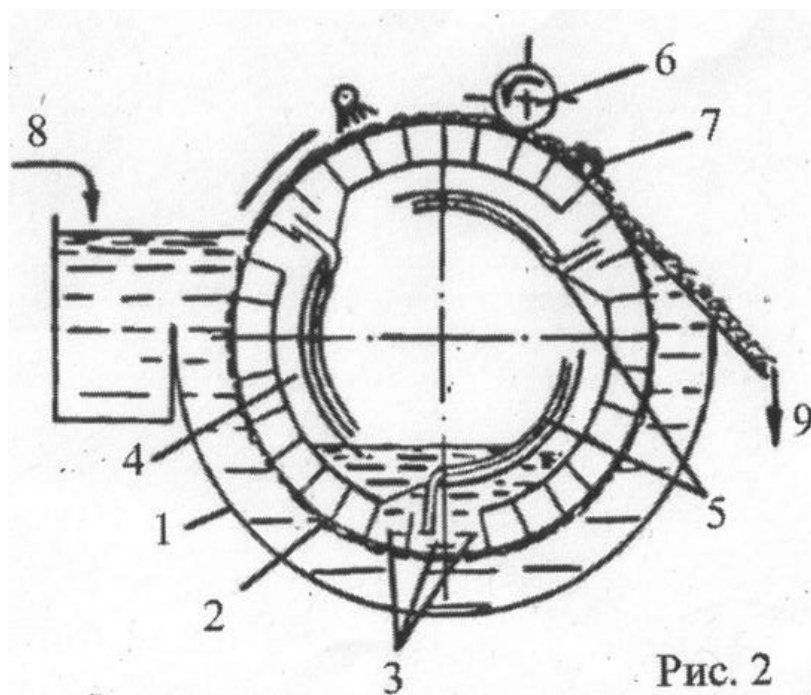


Рис. 2

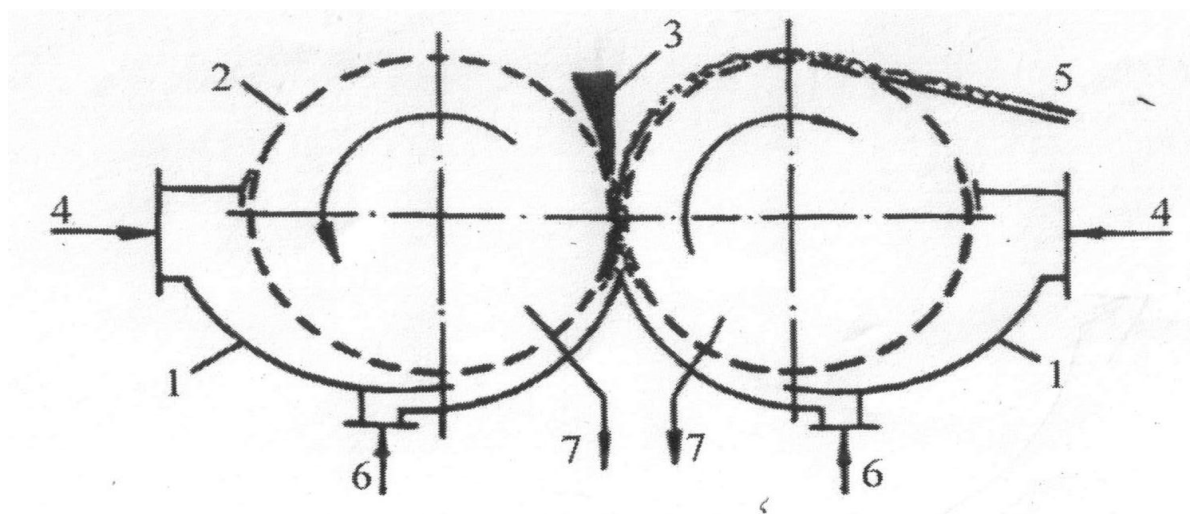


Рис. 3

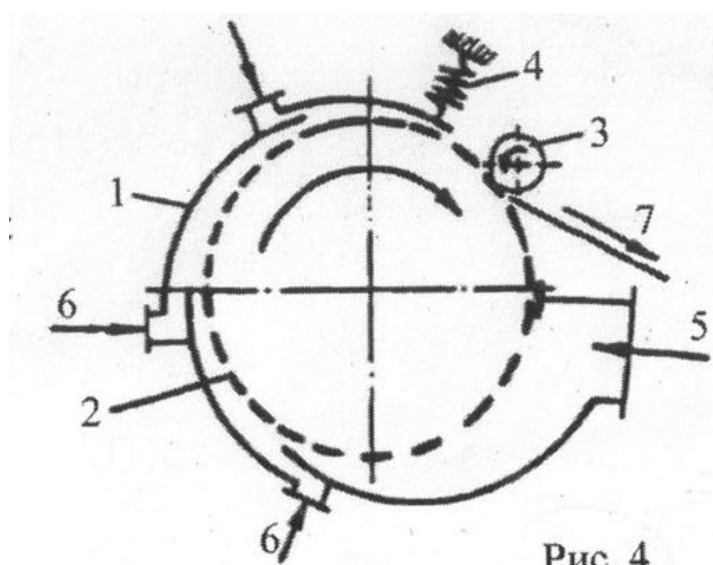
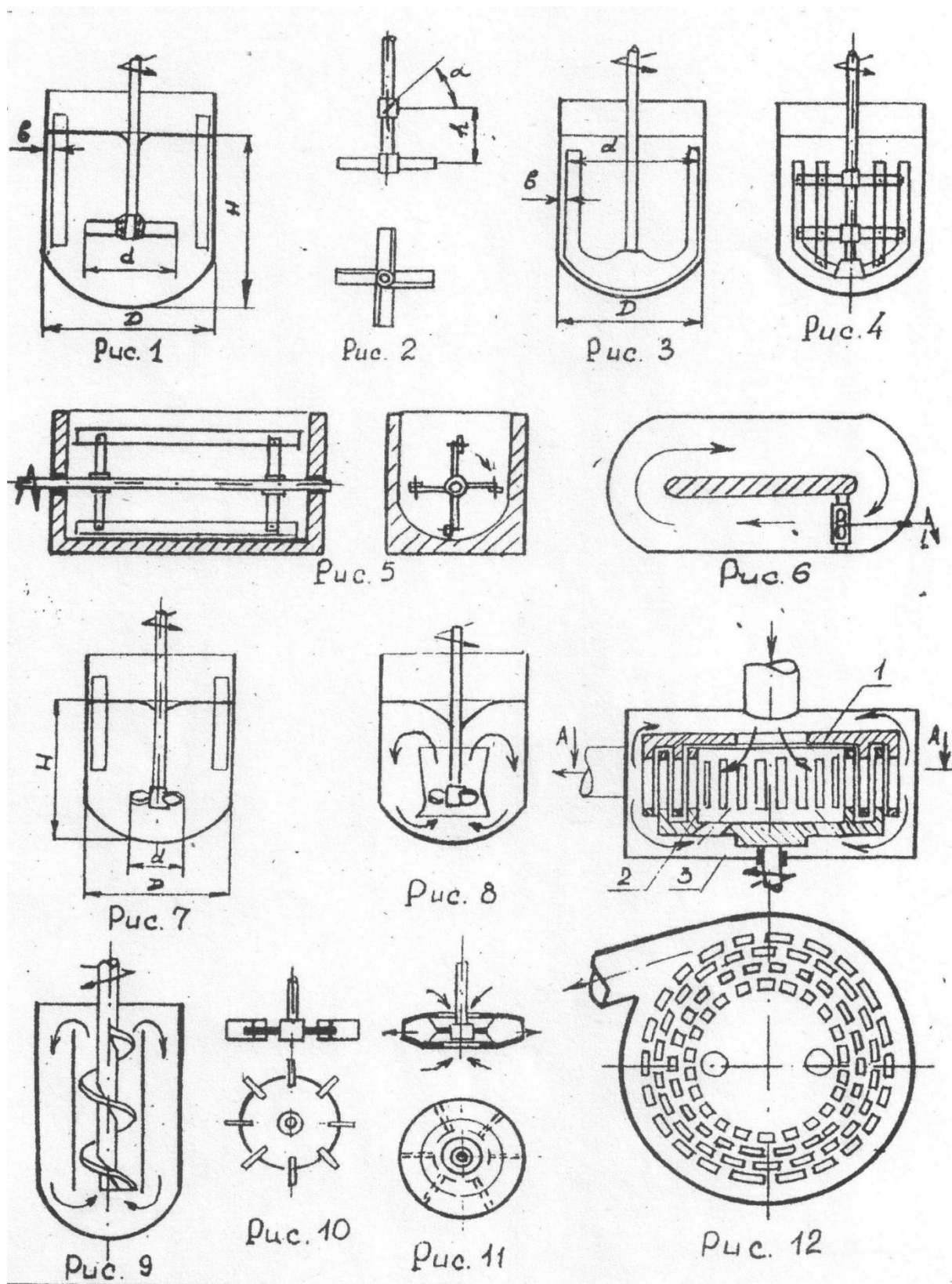


Рис. 4



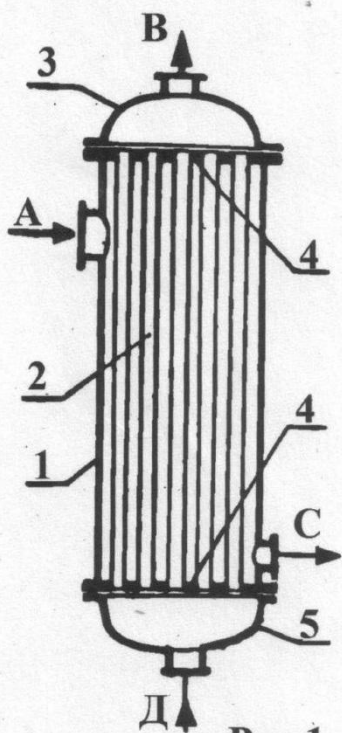


Рис.1

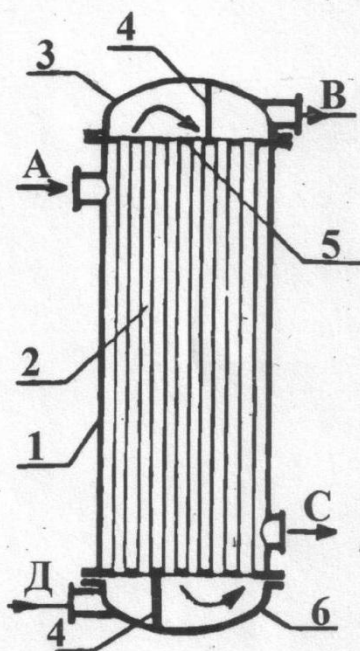


Рис.2

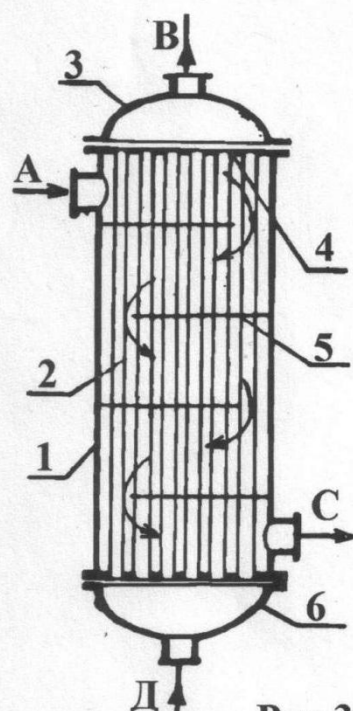


Рис.3

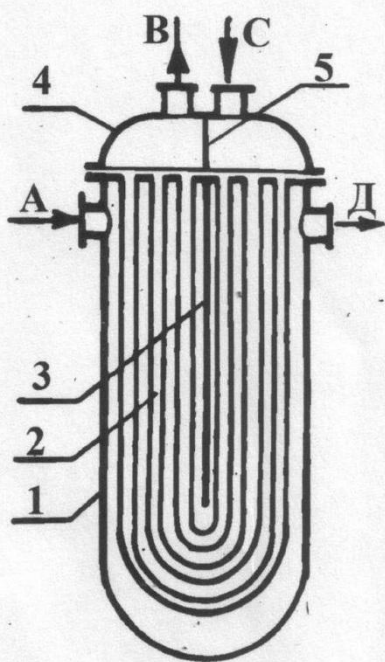


Рис.4

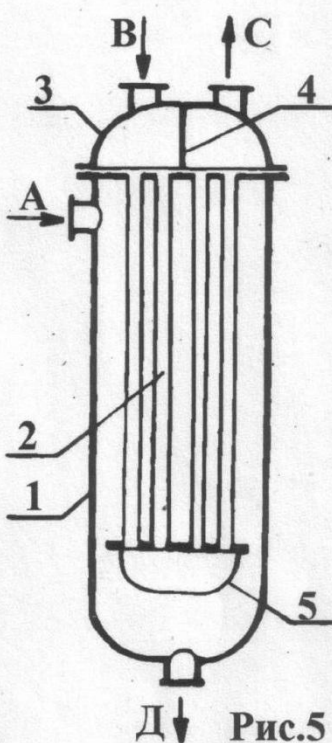


Рис.5

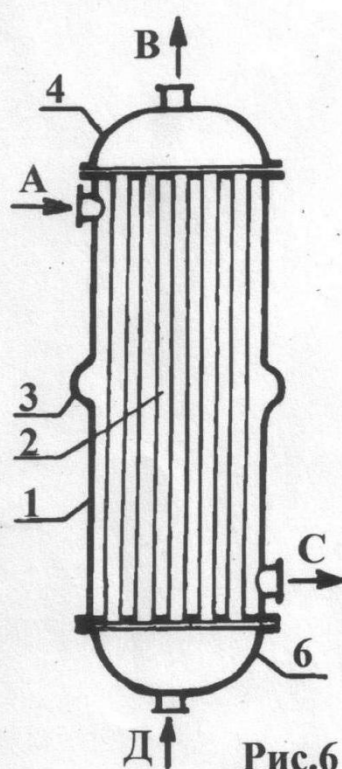


Рис.6

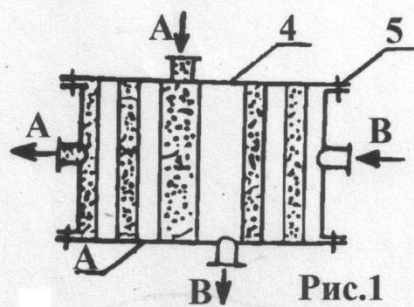


Рис.1

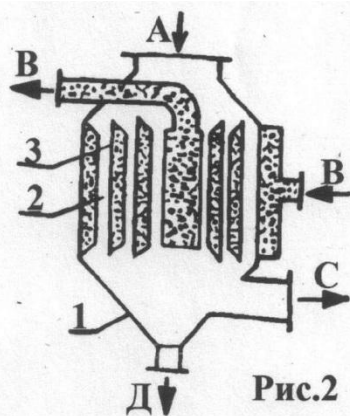


Рис.2

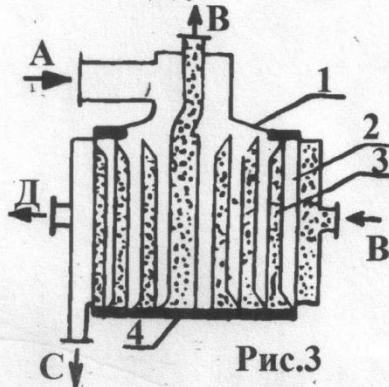


Рис.3

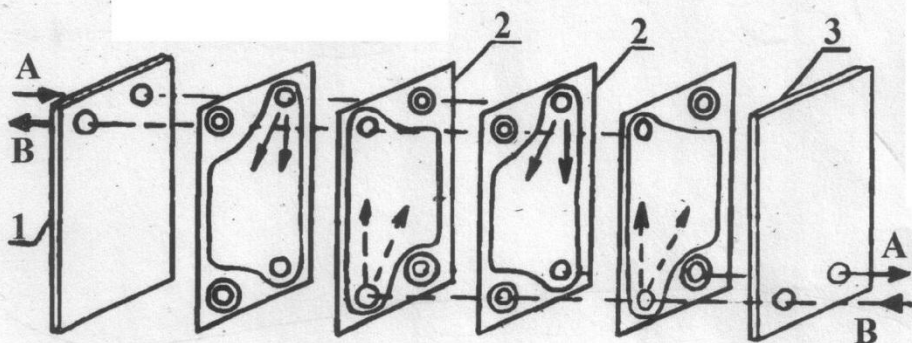


Рис.4

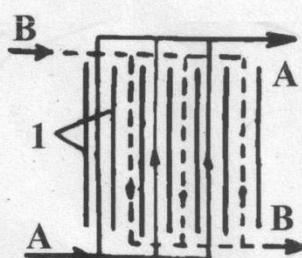


Рис.4 А



Рис.4 Б

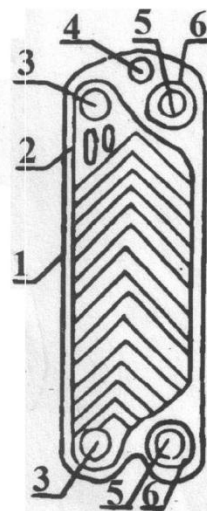


Рис.4 В

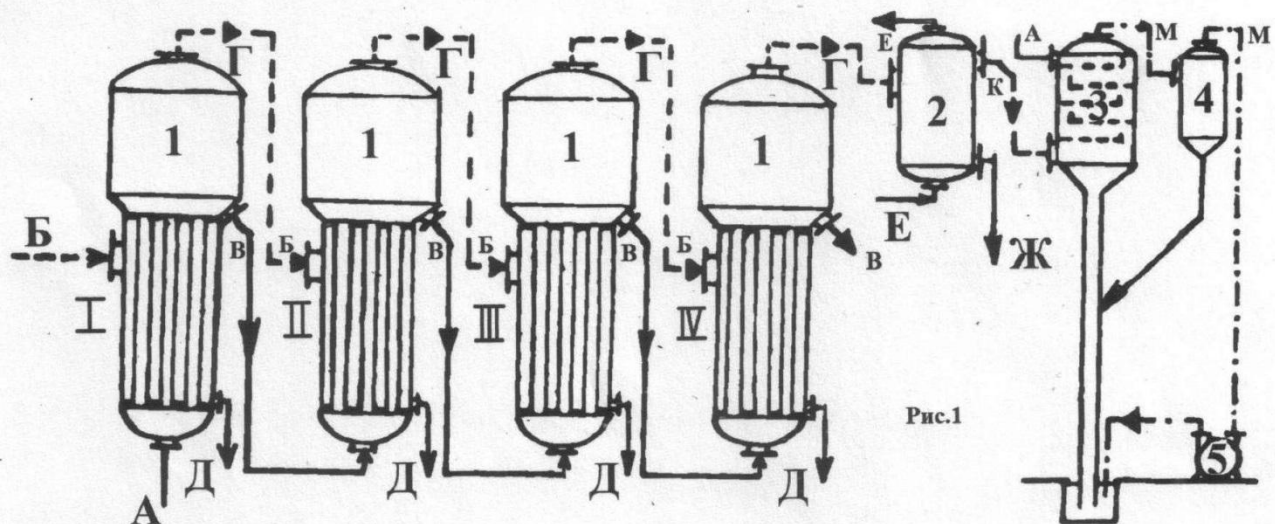


Рис.1

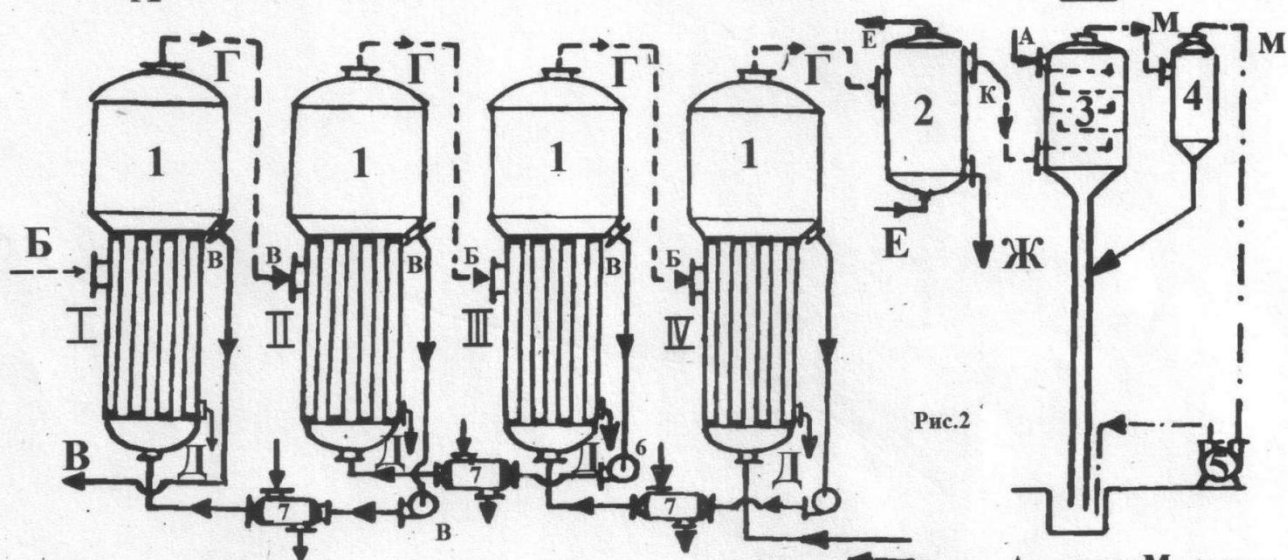


Рис.2

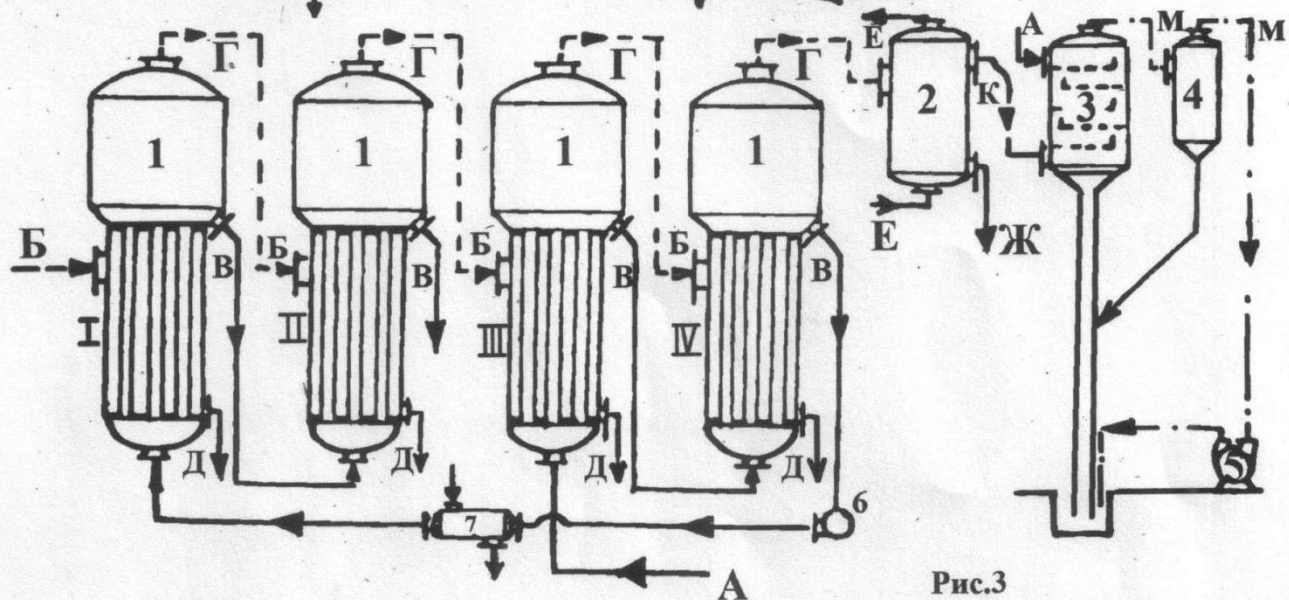
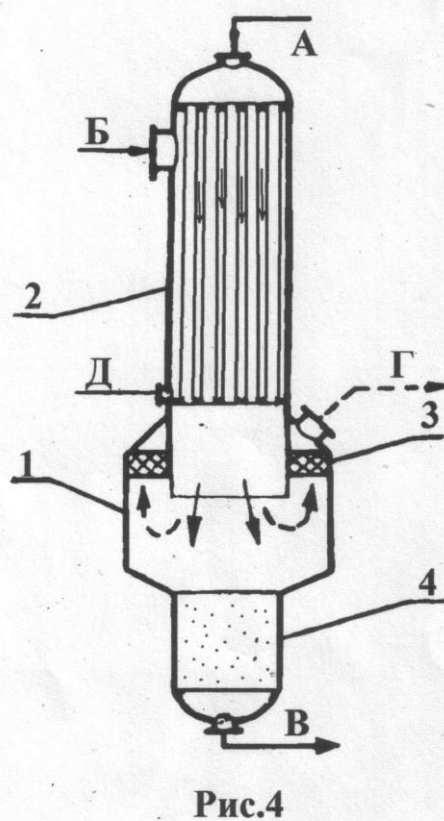
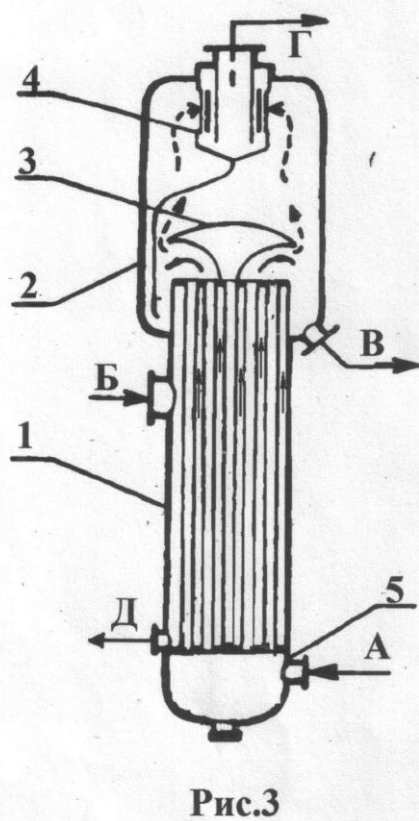
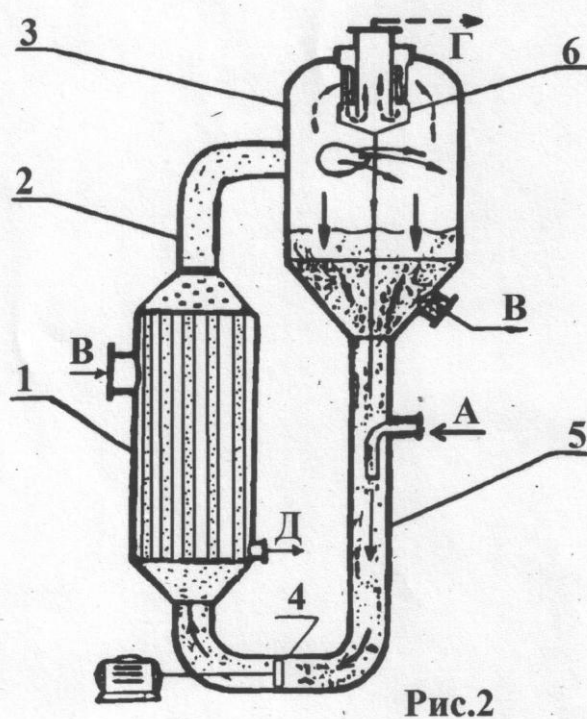
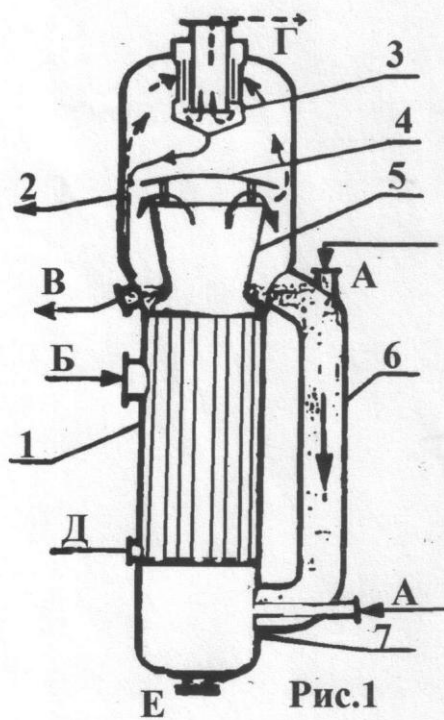
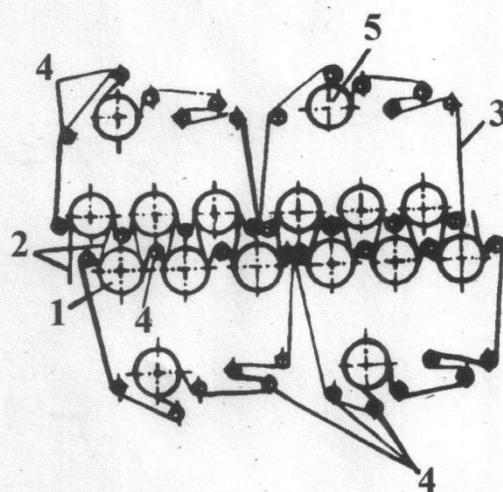
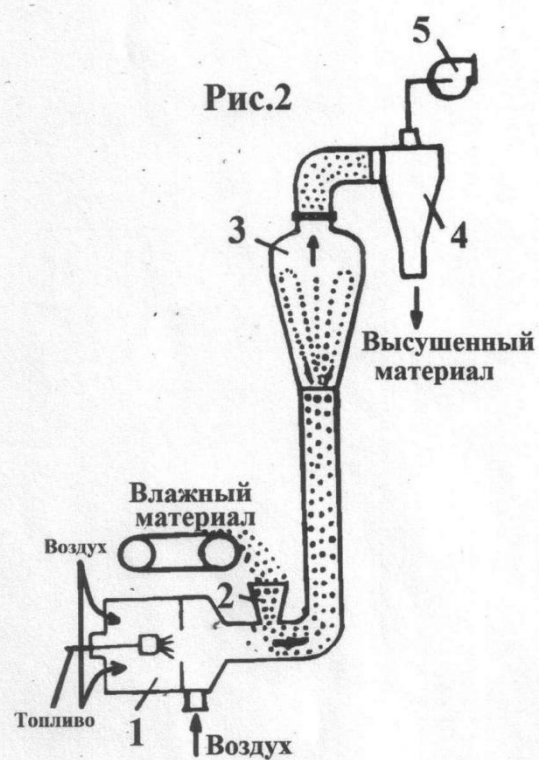
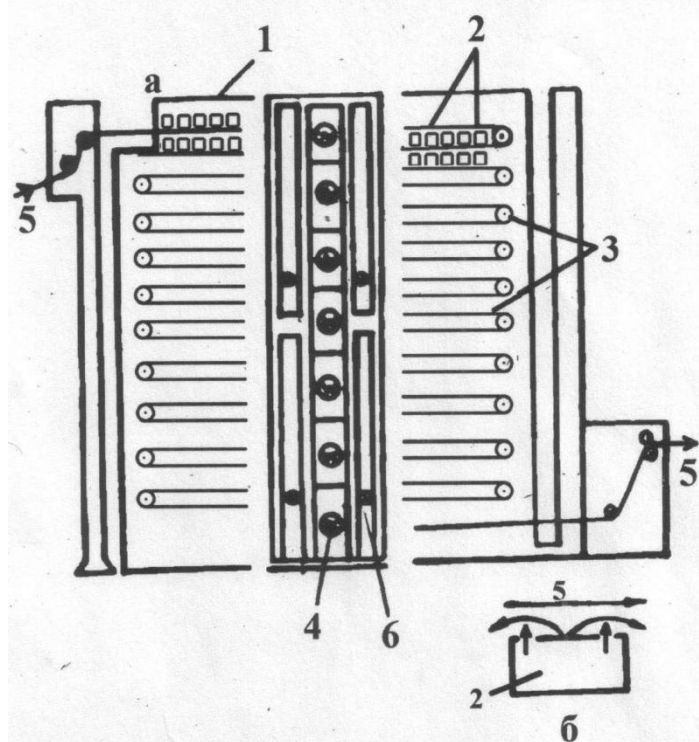
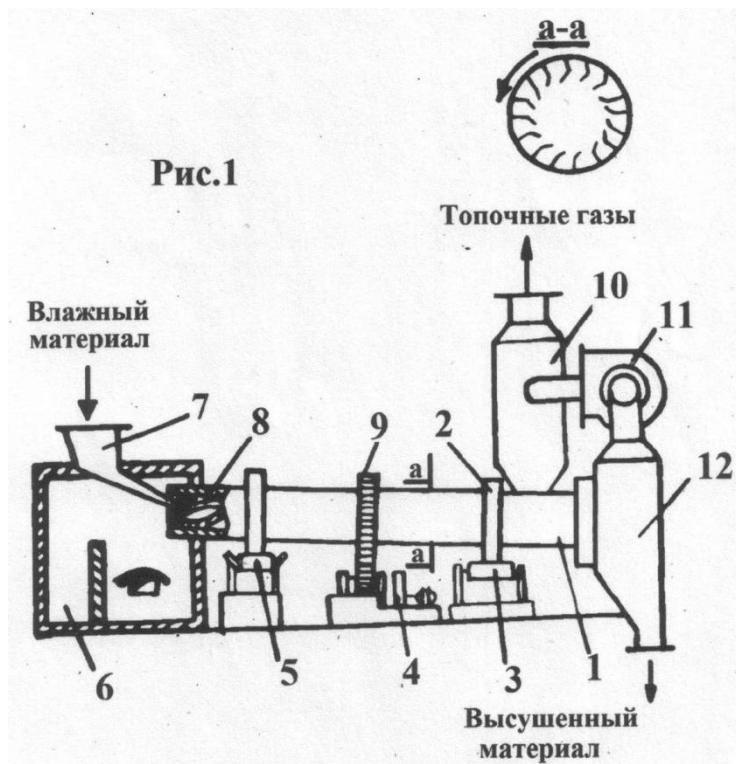


Рис.3





БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обзор технологий 3D печати <http://www.orgprint.com/ru/wiki/obzor-tehnologij-3D-pechat>
2. Стереолитография <http://www.ap-proekt.ru/articles/stereolitografiya.htm>
3. Преимущества лазерной стереолитографии
<http://www.foliplast.ru/stereolitografiya.html>
4. Селективное лазерное спекание (SLS) <http://about3d.ru/info/SLS/>
5. Лазерное спекание порошковых материалов
<http://www.umpo.ru/Page.aspx?id=263&print=true>
6. <http://3dfishki.com/technology.php>
7. Послойная печать расплавленной полимерной нитью
<http://www.fractus.org/2012/04/20/fdm>
8. Технология струйного моделирования [http://www.foto-business.ru/tehnologiya-struynogo-modelirovaniya-\(Ink-Jet-Modellin\).html](http://www.foto-business.ru/tehnologiya-struynogo-modelirovaniya-(Ink-Jet-Modellin).html)
9. Преимущества и недостатки разных видов 3D печати
<http://avatech3d.ru/articles/tag/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F>
10. Принцип работы LOM <http://www.foroffice.ru/articles/74681/>
11. Выбор материала для 3D печати <http://innoprint72.ru/service/3d-pechat-izdelij-iz-plastika.html>
12. Настройка модели печати <http://3dtool.ru/instrukcii>

Оглавление

Введение.....	3
1.Задачи самостоятельной работы студентов.....	4
2. Работа с книгой.....	7
2.1. Правила самостоятельной работы с литературой.....	8
2.2.Основные виды систематизированной записи прочитанного.....	11
2.3. Методические рекомендации по составлению конспекта.....	12
3. Практические занятия.....	13
3.1. Практические занятия по дисциплине «Химические реакторы».....	14
3.1.1.Задача теоретической оптимизации.....	16
3.1.2.Задача реализации (оптимизация трубчатого реактора).....	19
3.1.3. Задача оптимизации трубчатого реактора путем управления активностью катализатора.....	22
3.2. Руководство пользователя.....	26
4.Курсовой проект (работа).....	37
4.1. Расчет теплообменника.....	39
4.2. Технология 3D печати.....	53
4.2.1. Технология струйного моделирования.....	54
4.3. Проектирование в AUTOCAD.....	55
4.3.1. Основные команды AUTOCAD.....	55
4.3.2. 3D модель в программе AutoCAD.....	65
4.4. Изготовление модели с помощью технологии 3D печати.....	67
4.4.1.Выбор режима печати.....	72
4.4.2. Калибровка стола.....	74
5. Самопроверка.....	75
6. Консультация.....	76
7. Подготовка к экзаменам и зачетам.....	77
8.Раздаточный материал.....	79
Библиографический список.....	94

Николай Петрович Мидуков
Виктор Сергеевич Куров
Аркадий Олегович Никифоров

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Учебно-практическое пособие для самостоятельной работы
студентов**

Редактор и корректор Т.А. Смирнова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2017., поз.6

Подп. к печати. Формат 60х84/16. Бумага тип. №1.

Печать офсетная. Объем 6,25; 6,25 уч. - изд. л. Изд. №6.

Тираж 100 экз. 10.05.2017. Цена «С» Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4.

ISBN 978-5-91646-118-3

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2017

© Мидуков Н.П., Куров В.С., Никифоров А.О.,
2017