

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИнЭО

\_\_\_\_\_ А.С. Фадеев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА Часть 2**

Программа, методические указания и индивидуальные задания  
для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению  
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

*Составитель Н.М. Семёнов*

<b>Семестр</b>	<b>6</b>
Кредиты	6
Продолжительность, недель	4
Формы контроля	диф. зачет

Издательство  
Томского политехнического университета  
2018

УДК 004.421

Учебная практика. Часть 2: программа, метод. указ. и индивид. задания для студентов ИнЭО, обучающихся по напр. 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / сост. Н.М. Семёнов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 31 с.

Программа составлена на основании самостоятельно установленного образовательного стандарта ТПУ, утверждённого приказом № 2079 от 16.02.2015 г., и ФГОС № 200, утверждённого 12.03.2015 г. Программа, методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром Отделения автоматизации и робототехники (АиР) Инженерной школы информационных технологий и робототехники (ИШИТР) Томского политехнического университета 23 января 2018 г., протокол № 1.

И.о. руководителя Отделения АиР,

кандидат техн. наук, доцент \_\_\_\_\_

С.В. Леонов

### **Аннотация**

Программа, методические указания и индивидуальные задания по учебной практике (часть 2) предназначены для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». Профиль подготовки – «Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтегазовой отрасли)». Согласно учебному плану, практика имеет длительность четыре недели и проводится сразу после лабораторно-экзаменационной сессии в шестом семестре. Защита результатов учебной практики проводится в период зимней лабораторно-экзаменационной сессии четвёртого курса. Студенты, обучающиеся по дистанционным образовательным технологиям (ДОТ), обязаны защитить отчёт по практике в первые три недели осеннего семестра четвёртого курса.

Рассмотрены цели и задачи практики, её организация. Представлены индивидуальные задания для решения задачи, связанной с моделированием технологического процесса в нефтегазовой отрасли.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛИ ПРАКТИКИ.....	4
2. ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ .....	5
3. МЕСТО ПРАКТИКИ В СТРУКТУРЕ ООП .....	6
4. МЕСТО И ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ.....	7
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ), ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ.....	8
6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКИ .....	10
7. ФОРМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ПРАКТИКИ.....	11
8. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ.....	12
9. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ .....	15
9.1. Разделение газожидкостных потоков в химико-технологических процессах.....	15
9.2. Расчёт однократного испарения многокомпонентной углеводородной смеси.....	18
9.3. Исходные данные для расчета процесса разделения многокомпонентной углеводородной смеси.....	20
9.4. Варианты заданий.....	25
9.5. Порядок выполнения исследований .....	26
9.6. Контрольные вопросы и задания .....	27
10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИКИ.....	28
11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ обеспечение практики.	29
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	30

## 1. ЦЕЛИ ПРАКТИКИ

Учебная практика поддерживает основную концепцию основной образовательной программы (ООП) бакалавриата по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» [1], в частности, обеспечивает фундаментальную инженерную и *практическую* подготовку в единстве научной и учебной деятельности.

В то же время учебная практика способствует развитию следующих исключительных компетенций:

- глубокие знания современных методов и средств проектирования автоматизированных систем диспетчерского управления технологическими процессами и производствами;
- профессиональное владение аппаратными средствами, программным обеспечением контроллеров, анализа и синтеза SCADA-систем управления технологическими установками различного назначения.

В конечном итоге это позволит выпускнику успешно работать в данной сфере деятельности, обладать универсальными (общекультурными) и профессиональными компетенциями, способствующими его социальной мобильности и устойчивости на рынке труда.

Учебная практика напрямую соответствует таким целям ООП, как

**Цель 1:** Подготовка выпускников к междисциплинарным научным исследованиям для решения задач, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.

**Цель 3:** Подготовка выпускников к эксплуатации и обслуживанию аппаратных и программных средств автоматизации объектов, технологических процессов и производств.

## 2. ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ

Задачи, которые надо решить для приобретения необходимых компетенций и достижения поставленных целей:

- приобретение опыта самостоятельного изучения технологических процессов в нефтегазовой отрасли;
- приобретение опыта самостоятельного творческого поиска эффективного подхода к решению поставленной задачи;
- закрепление навыков в применении технологии структурированного программирования;
- развитие навыков пошаговой детализации при решении поставленной задачи;
- развитие навыков построения алгоритма решения поставленной задачи;
- развитие навыков оформления и комментирования текста программы;
- развитие навыков тестирования и отладки программ;
- развитие навыков в самостоятельной проверке правильности полученных при решении задачи результатов.

### 3. МЕСТО ПРАКТИКИ В СТРУКТУРЕ ООП

Учебная практика базируется на следующих дисциплинах ООП [1], соответствующих математическому и естественнонаучному модулю:

- «Информатика 1.2» (1-й семестр);
- «Химия 1.2» (1-й семестр);
- «Информационные технологии» (2-й семестр);
- «Программные средства математических расчетов» (2-й семестр);
- «Физика 1.2», «Физика 2.2», «Физика 3.2» (2-й, 3-й, 4-й семестры);
- «Учебно-исследовательская работа студентов» (2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й семестры);
- «Программирование и алгоритмизация» (2-й семестр);
- «Основы нефтегазового дела» (6-й семестр).

После изучения данных дисциплин студент должен владеть основными навыками программирования на языках высокого уровня, оперировать основными понятиями в физике, математике, химии, знать физические и химические характеристики нефти и газа, а также иметь представления об основных технологических процессах в нефтегазовой отрасли.

Знания и навыки, закреплённые и полученные во время учебной практики (часть 2), могут непосредственно использоваться при освоении таких дисциплин, как:

- «Моделирование систем и процессов» (9-й семестр);
- «Подготовка, транспорт и хранение скважинной продукции» (8-й семестр);
- «Производственная практика» (8-й семестр);
- «Проектирование автоматизированных систем» (8-й семестр).

#### **4. МЕСТО И ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ**

Учебная практика студентов (часть 2) проводится в Отделении автоматизации и робототехники Инженерной школы информационных технологий и робототехники (ИШИТР) Томского политехнического университета сразу после лабораторно-экзаменационной сессии в шестом семестре. Продолжительность практики – 4 недели.

Студенты, обучающиеся по классической заочной форме (КЗФ) и с использованием ДОТ, получают всю необходимую информацию об организации практики на установочной лекции и на вебинаре соответственно.

Практика является учебной, поэтому студенты КЗФ обязаны ежедневно по 6 часов находиться на занятиях, которые проводятся в соответствии с расписанием, утвержденным руководителем отделения. Работа в аудиториях является основой для получения и углубления теоретических знаний и практического их закрепления.

Допускается прохождение практики на предприятии по месту работы студента или самостоятельно при наличии соответствующей вычислительной техники и программного обеспечения.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ), ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ

Прохождение учебной практики способствует достижению следующих результатов (выпускник должен быть готов) [1]:

Р1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач и понимать область их применения.
Р3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
Р5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Для решения вышеперечисленных задач после прохождения практики студенты должны

### **знать**

- 3.4.10 Классификацию моделей систем и процессов, их виды и виды моделирования. Принципы и методологию функционального, имитационного и математического моделирования систем и процессов; методы построения моделирующих алгоритмов.
- 3.6.4 Методы построения математических моделей, их упрощение. Технические и программные средства моделирования.
- 3.7.1 Синтаксис и семантику алгоритмического языка программирования, принципы и методологию построения алгоритмов программных систем.
- 3.7.6 Принципы структурного и модульного программирования с поддержкой жизненного цикла программ, а также объектно-ориентированного программирования.

### **уметь**

- У.4.10 Использовать основные методы построения математических моделей процессов, систем, их элементов и систем управления.
- У.6.4 Оценивать точность и достоверность результатов моделирования.
- У.7.1 Проектировать простые программные алгоритмы и реализовывать их с помощью современных средств программирования.



**владеть**

- В.4.10** Навыками имитационного и математического моделирования систем и процессов.
- В.6.4** Навыками планирования эксперимента и статистического моделирования на персональном компьютере.
- В.7.1** Навыками работы на компьютерной технике с графическими пакетами для получения конструкторских, технологических и других документов.

В результате прохождения учебной практики (часть 2) формируются следующие компетенции ООП [1]:

<b>Компетенция</b>	<b>Расшифровка</b>
<b>Общекультурные компетенции (ОК)</b>	
ОК-1	способность использовать основы философских знаний, анализировать главные этапы и закономерности исторического развития для осознания социальной значимости своей деятельности;
ОК-3	способность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
ОК-5	способность к самоорганизации и самообразованию;
<b>Общепрофессиональные компетенции (ОПК)</b>	
ОПК-3	способность использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности;
<b>Профессиональные компетенции (ПК)</b>	
ПК-18	способность аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством;
ПК-28	способность организовывать работы по повышению научно-технических знаний, развитию творческой инициативы, рационализаторской и изобретательской деятельности, внедрению достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использованию передового опыта, обеспечивающие эффективную работу учреждения, предприятия.

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКИ

Трудоёмкость практики составляет 6 кредитов (216 часов).

№ п/п	Разделы (этапы) практики	Трудоемкость (в часах)
1	Сбор, обработка и систематизация фактического и литературного материала по поставленной задаче	50
2	Разработка алгоритма программы	50
3	Написание текста программы	30
4	Отладка программы	14
5	Тестирование программы	20
6	Подготовка отчета по практике	50
7	Защита отчёта по практике	2

*Примечание.* Отчет по практике оформляется в соответствии с требованиями Положения о практиках в ТПУ.

## **7. ФОРМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ПРАКТИКИ**

Форма отчетности по учебной практике (часть 2) – дифференцированный зачет. Промежуточная аттестация проводится на основании отчёта по практике.

Защита результатов учебной практики для студентов, обучающихся по КЗФ, проводится в период зимней лабораторно-экзаменационной сессии четвёртого курса.

Студенты, обучающиеся по ДОТ, обязаны защитить отчёт по практике в первые три недели осеннего семестра четвертого курса.

Работа не допускается к защите, если не носит самостоятельного характера.

Защита для студентов, обучающихся по КЗФ, организуется преподавателем, ответственным за учебную практику. Для студентов, обучающихся по КЗФ, она может проходить в форме индивидуального собеседования или публичной защиты перед группой с демонстрацией работающих компьютерных программ и полученных результатов. На защите студент должен продемонстрировать понимание поставленных задач, уверенное владение материалом отчёта, а также доказать правильность полученных результатов.

Все указанные руководителем практики недостатки в отчете должны быть устранены до защиты. Поэтому рекомендуется сдать отчёт на проверку в один из первых дней зимней лабораторно-экзаменационной сессии.

## 8. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ

Отчет по учебной практике (часть 2) составляется каждым студентом самостоятельно и является основным документом, предъявляемым студентом для защиты практики.

При составлении отчета студент руководствуется программой практики. Отчет по практике должен полностью отражать выполнение индивидуального задания.

При изложении текста отчета необходимо стремиться к четкости изложения, логической последовательности излагаемого материала, обоснованности выводов и предложений, точности и краткости приводимых формулировок.

Отчет должен быть выполнен на белой бумаге формата А4 (210x297 мм) с одной стороны листа с применением печатающих или графических устройств вывода ЭВМ – текст через 1,5 интервала, высота букв и цифр не менее 1,8 мм, цвет – черный. Рекомендуется использовать гарнитуру шрифта Times New Roman – 14, допускается Arial – 12. При печати текстового материала следует использовать двухстороннее выравнивание (по ширине). Текст надо печатать с оставлением полей:

- с левой стороны листа – 30 мм;
- с правой стороны листа не менее 10 мм;
- сверху и снизу не менее 20 мм,

Все слова пишутся полностью за исключением общепринятых сокращений.

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- основную часть отчета;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Заголовками соответствующих структурных частей отчета должны служить слова «РЕФЕРАТ», «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ», написанные на отдельной строке. Каждую структурную часть надо начинать с нового листа.

Титульный лист является первым листом отчета и оформляется в соответствии с образцом (прил. 1).

Реферат должен содержать:

- количественную характеристику отчета;
- текстовую часть.

Количественная характеристика отчета содержит сведения о его объеме, количестве и характере иллюстраций, таблиц, количестве использованных литературных и интернет-источников, количестве приложений. Эти данные записываются с новой строки ниже заголовка раздела, например:

### РЕФЕРАТ

Всего 25 с., 7 рис. (2 черт., 3 фот., 2 графика), 5 табл., 2 приложения.

Текст **реферата** должен отражать:

- цель практики;
- перечень основных выполненных работ;
- методы исследований, вычислений, полученные результаты и выводы.

**Введение** должно содержать:

- сведения о продолжительности практики;
- основные сведения о технологическом процессе;
- вопросы по особенностям языка программирования, использованного при исследовании процесса.

**Основная часть** отчета содержит:

- описание технологического процесса;
- описание аппаратов и оборудования, используемых в технологическом процессе;
- блок-схема алгоритма, использованного при моделировании технологического процесса;
- текст программы;
- анализ полученных результатов.

**Заключение** должно содержать краткие выводы по результатам выполнения работы или отдельных ее этапов, предложения, рекомендации.

**Приложения** могут содержать материалы справочного характера.

Страницы отчета нумеруются арабскими цифрами. Титульный лист включают в общую нумерацию отчета. На титульный лист номер не ставят, на последующих страницах номер проставляют в правом нижнем углу.

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «рисунок», написанное полностью без сокращения, его номер и наименование помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично иллюстрации.

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой, в той же последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия.

Уравнения и формулы следует выделить из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки.

Ссылки в тексте на источники допускается указывать порядковым номером по списку источников, заключённого в квадратные скобки.

Ссылки на иллюстрации указывают порядковым номером иллюстрации, например: рис. 1.2.

Ссылки на формулы указывают порядковым номером формулы в скобках, например: «. . . в формуле (2.1)».

На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «Таблица» в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера и сокращенно – если имеет номер, например: «. . . в табл. 1.2». В повторных ссылках на таблицы и иллюстрации следует указать сокращенно слово «смотри», например: «см. табл. 1.3».

## 9. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Во время прохождения практики студент получает один из 18 вариантов заданий. Выбор варианта осуществляется следующим образом.

Составляется из двух последних цифр зачетной книжки число  $N$ . Если число  $N$  меньше или равно 18, то номер варианта совпадает с  $N$ , если  $N$  больше 18, то номер варианта – остаток от деления  $N$  на 18. Например, если шифр зачетной книжки 3-8Т51/16, тогда  $N=16$ , номер варианта 16, если шифр зачетной книжки Д-8Т51/45, тогда  $N=45$  и номер варианта равен 9, т.е.  $(45 - 18 \cdot 2 = 9)$ .

Содержательная часть учебной практики состоит в проведении исследования процесса разделения многокомпонентной смеси в газовом сепараторе [2]. Исследование включает в себя следующие этапы:

1. Ознакомление с методикой расчёта однократного испарения газожидкостной смеси.
2. Создание компьютерной программы для моделирования процесса разделения многокомпонентной смеси в газовом сепараторе.
3. Изучение влияния температуры, давления на процесс разделения газожидкостной смеси в каскаде сепараторов.
4. Выбор эффективного режима работы каскада сепараторов.

### 9.1. Разделение газожидкостных потоков в химико-технологических процессах

В химической технологии широко распространены процессы разделения двухфазных газожидкостных систем, в частности, сепарация на составляющие фазы: газ и жидкость.

Сепараторы являются обязательным элементом любой технологической схемы промышленной подготовки нефти и газа на нефтяных и газоконденсатных месторождениях, а также составной частью оборудования в процессах переработки нефти, газа и газового конденсата.

На рис. 1 представлена схема классификации сепараторов по основным функциональным и конструктивным признакам.

Газовые сепараторы предназначены для отделения природного газа от конденсата, воды и твердых частиц. В газовых сепараторах разделяют газожидкостную смесь с относительно небольшим содержанием жидкости.

Сепараторы, как правило, состоят из нескольких секций, каждая из которых выполняет определенные функции.

Секция ввода газожидкостных смесей обеспечивает максимальное отделение крупнодисперсной фазы, особенно при высоком начальном содержании жидкой фазы, а также равномерный ввод газожидкостной смеси в аппарат, в том числе в секцию окончательной очистки газа от капель жидкости.

Секция коагуляции мелких капель жидкости располагается в зоне осаждения перед секцией окончательной очистки и предназначена для укрупнения мелких капель жидкости, отделения укрупненных капель и выравнивания подачи газа в секцию окончательной очистки.

Секция окончательной очистки газа обеспечивает заданную эффективность сепарации в проектном диапазоне его нагрузок как по газу, так и по жидкости.

Несмотря на большое разнообразие конструкций сепараторов, их можно условно разделить на два класса в соответствии с физическими принципами разделения газожидкостных смесей: гравитационные и инерционные [2].

В гравитационных сепараторах, представляющих собой большие горизонтальные или вертикальные емкости, разделение фаз происходит за счет силы тяжести. Поскольку размеры капель, попадающих в сепаратор из подводящего трубопровода, малы, то для их эффективного удаления из потока только за счет силы тяжести требуется длительное время и, как следствие этого, сепараторы имеют большие размеры.

В инерционных сепараторах разделение фаз происходит за счет сил инерции при обтекании газожидкостной смесью различных препятствий (сеток, струн и т.п.) и при закручивании потока в центробежных патрубках (циклонах).

В современных конструкциях газовых сепараторов используются оба принципа. Сепаратор состоит из двух секций: осадительной и концевой. В осадительной секции происходит осаждение капель за счет силы тяжести. Концевая секция оборудуется различными насадками: центробежными патрубками, сетчатыми и струнными насадками и т.д. В этих насадках улавливание капель происходит за счет силы инерции. Степень разделения газожидкостной смеси в сепараторах зависит от расхода газа, термобарических условий, а также от среднего радиуса капель, вносимых в сепаратор с потоком газа из подводящего трубопровода, который, в свою очередь, зависит от параметров трубопровода, а также от наличия установки предварительной конденсации перед сепаратором.



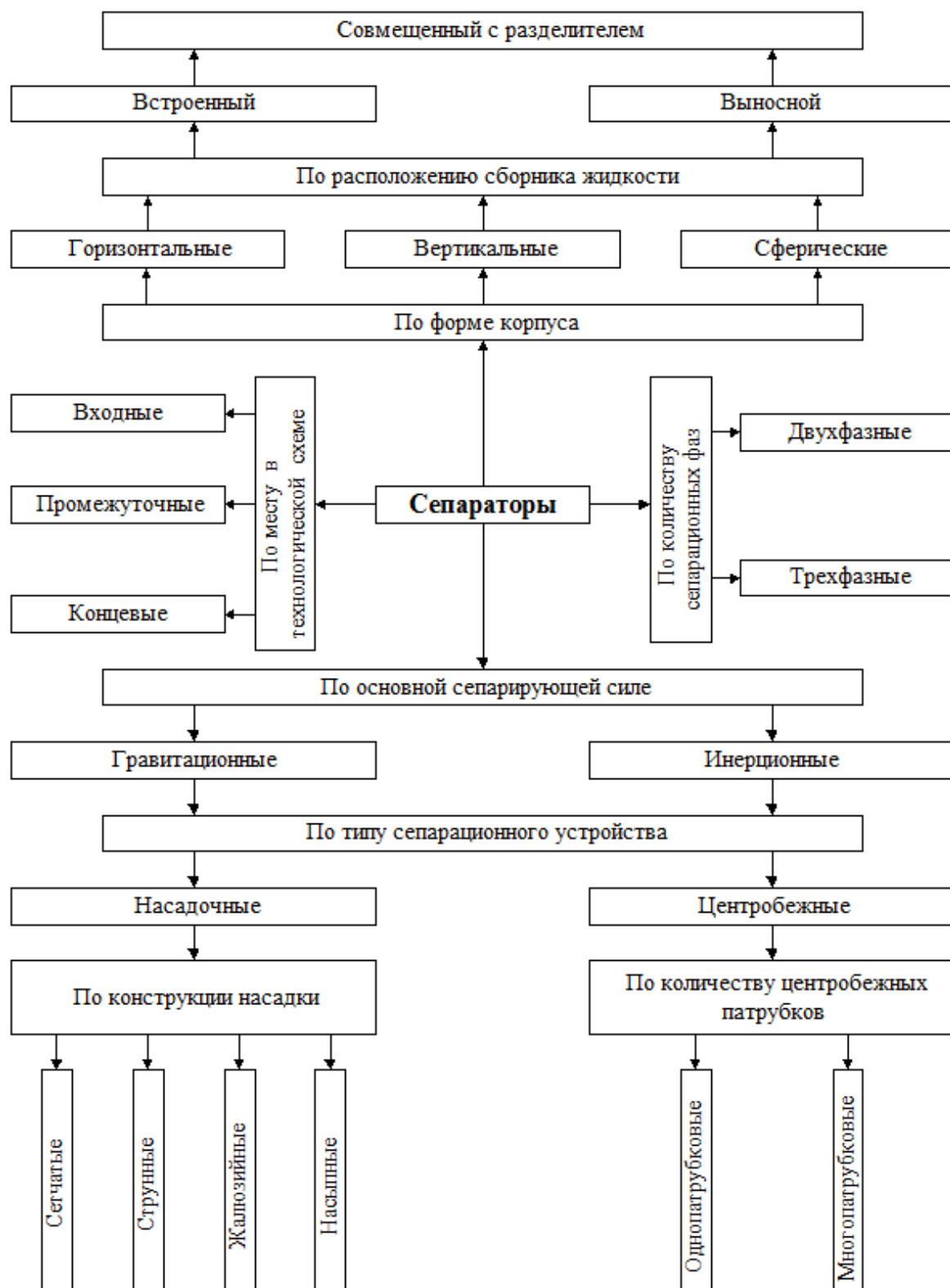


Рис. 1. Классификация сепараторов по основным функциональным и конструктивным признакам

Объем газосепаратора определяется условием пребывания в нем жидкости:

$$V = \tau \cdot v_0, \quad (1)$$

где  $V$  – объем газосепаратора, м<sup>3</sup>;  
 $\tau$  – время пребывания жидкости, с;  
 $v_0$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с.

По объему газосепаратора подбирают тип и марку сепаратора по каталогу.

## 9.2. Расчёт однократного испарения многокомпонентной углеводородной смеси

Сепарация нефти по своей физической сущности является сочетанием физических и массообменных процессов, протекающих между газовой и жидкой фазами, содержащими большое количество компонентов, т.е. является сложным многокомпонентным процессом. Однако при построении математических моделей, обладающих высокой прогнозирующей способностью и точностью, необходимо учитывать физико-химические закономерности их протекания. В то же время модель должна иметь приемлемую для расчетов размерность и возможность решения известными численными методами.

Чтобы удовлетворить требованиям, будем рассматривать, что в процессе сепарации:

- достигается состояние равновесия;
- происходит однократное испарение компонентов смеси.

Исходя из этого, модель сепарации должна включать расчет констант фазового равновесия и расчет доли отгона на основании уравнений материальных балансов по газовой и жидкой фазам.

Уравнение материального баланса процесса однократного испарения для многокомпонентной системы в целом можно представить как

$$F = G + L, \quad (2)$$

где  $F$  – количество исходного сырья, кг/час;  
 $G$  – количество паровой фазы, кг/час;  
 $L$  – количество жидкой фазы, кг/час.

Для  $i$ -го компонента системы (то есть для конкретного углеводорода) материальный баланс запишется следующим образом:

$$F \cdot u_i = G \cdot y_i + L \cdot x_i, \quad (3)$$

где  $u_i, x_i, y_i$  – мольные доли  $i$ -го компонента в исходном сырье и полученных жидкой и паровой фазах соответственно.

В условиях равновесия

$$y_i = K_i \cdot x_i, \quad (4)$$

где  $K_i$  – константа фазового равновесия  $i$ -го компонента; эта константа рассчитывается как отношение давления насыщенных паров (7) к давлению в сепараторе ( $K_i = P_i / P_{\text{сепаратора}}$ ).

Основное уравнение для расчета частичного однократного испарения многокомпонентной системы:

$$x_i = \frac{u_i}{1 + e(K_i - 1)}, \quad (5)$$

где  $e = \frac{G}{F}$  – молярная доля пара (доля отгона) в конце процесса однократного испарения.

Контролем правильности решения является выполнение стехиометрических условий:

$$\sum_i x_i = \sum_i y_i = 1. \quad (6)$$

Определить давление насыщенных паров компонентов можно по различным расчетным формулам, например: Антуана, Ашворта.

В частности, формула Ашворта имеет следующий вид:

$$P_i = 10^5 \cdot \exp \left[ 6,172 \left( 1 - \frac{F(T)}{F(T_i)} \right) \right], \quad (7)$$

где  $P_i$  – давление насыщенных паров, Па;

$T$  – температура однократного испарения, К;

$T_i$  – температура кипения углеводорода, или средняя температура кипения углеводородной фракции, К.

Функцию  $F(T)$  находят из уравнения

$$F(T) = \frac{1250}{\sqrt{(T + 273)^2 + 108000} - 307,6} - 1. \quad (8)$$

По этому же уравнению, подставляя  $T_i$  вместо  $T$ , рассчитывают и функцию  $F(T_i)$ .

### 9.3. Исходные данные для расчета процесса разделения многокомпонентной углеводородной смеси

Принципиальная схема сепарационного блока представлена на рис. 2.

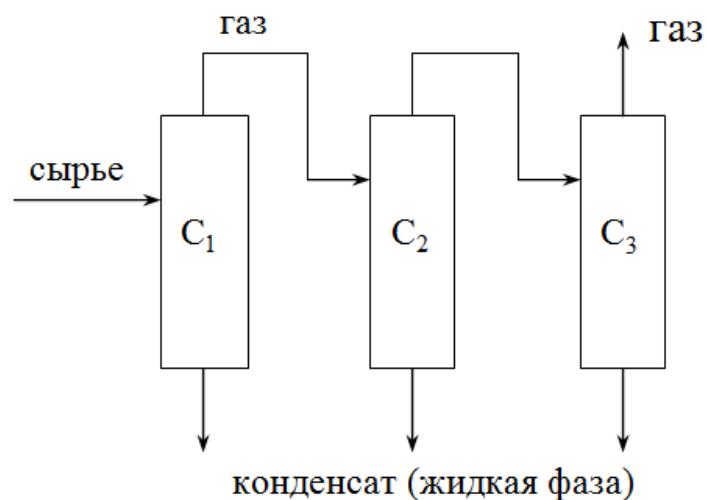


Рис. 2. Схема сепарационного блока ( $C_i$  – сепаратор)

Для проведения расчета сепарационного блока процесса разделения многокомпонентной углеводородной смеси необходимы следующие данные:

1. Расход сырья, кг/год.
2. Температура в сепараторах, °C.
3. Давление, Па.
4. Состав сырья, мольные доли.

Пример исходных данных для расчета приведен в табл. 1.

Таблица 1

## Исходные данные для расчета процесса сепарации

Компонент	Состав, мольн. доли	Молек. масса	Плот.газа, кг/м <sup>3</sup>	Плотн. жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Температура кип., °С	Температура крит., К	Давл. крит., атм.
СО <sub>2</sub>	0,00538	44,0111	1,9650	859,0	-78,2	304,2	72,83
Азот	0,02648	28,0160	1,2510	570,0	-195,8	126,2	33,5
СН <sub>4</sub>	0,8486	16,0430	0,7162	300,0	-161,58	190,6	45,4
С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub>	0,0424	30,0700	1,3420	460,0	-88,70	305,4	48,2
С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub>	0,02628	44,0970	1,969	501,0	-42,06	369,8	41,9
i-С <sub>4</sub>	0,00759	58,1240	2,5948	557,0	-11,73	408,1	36,0
С-4	0,00548	58,1240	2,5948	580,0	-0,5	425,2	37,5
i-С <sub>5</sub>	0,00	72,1510	3,2200	610,0	27,9	460,4	33,4
С-5	0,0083	72,1510	3,2200	616,0	36,1	469,6	33,3
OST	0,02692	108,0	3,8800	721,3	100,7	537,2	28,0
Н <sub>2</sub> О	0,00172	18,0	0,804	1000,0	100,0	647,3	217,6
Мет	0,00085	32,0	2,678	791,0	64,65	512,6	79,9

В таблице обозначено: i-С<sub>4</sub> изобутан; Мет – метанол.

Пример результатов расчетов приведен в табл. 2 и 3.

---

1 1687649 – расход сырой эмульсии, т/год; OST – высшие углеводороды

Таблица 2

Результаты расчета процесса сепарации<sup>2</sup>

Вещество	Номер сепаратора					
	1		2		3	
	$P_1=6\ 800\ 000,0\ \text{Па},$ $T_1=16,5\ ^\circ\text{C}$		$P_2=6\ 000\ 000,0\ \text{Па},$ $T_2=-9,2\ ^\circ\text{C}$		$P_3=5\ 300\ 000,0\ \text{Па},$ $T_3=-22,5\ ^\circ\text{C}$	
	Ж	Г	Ж	Г	Ж	Г
	В мольных процентах					
CO <sub>2</sub>	0,904	0,222	0,738	0,119	0,393	0,051
Азот	1,776	3,401	2,085	3,664	2,291	4,004
CH <sub>4</sub>	74,658	93,674	88,187	94,768	92,897	95,231
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6,700	2,114	6,104	1,318	3,850	0,692
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	5,112	0,482	2,290	0,121	0,529	0,020
i-C <sub>4</sub>	1,567	0,059	0,326	$5,97 \cdot 10^{-5}$	0,028	$3,54 \cdot 10^{-6}$
C-4	1,147	0,030	0,170	$2,05 \cdot 10^{-5}$	$9,99 \cdot 10^{-5}$	$7,79 \cdot 10^{-7}$
i-C <sub>5</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C-5	1,775	0,013	0,077	$2,06 \cdot 10^{-6}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-8}$
OST	5,804	0,003	0,018	$2,33 \cdot 10^{-8}$	$1,17 \cdot 10^{-7}$	$6,59 \cdot 10^{-12}$
H <sub>2</sub> O	0,371	$2,01 \cdot 10^{-6}$	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-9}$	$8,02 \cdot 10^{-9}$	$4,68 \cdot 10^{-13}$
Метанол	0,183	$4,40 \cdot 10^{-6}$	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,97 \cdot 10^{-8}$	$9,92 \cdot 10^{-8}$	$3,80 \cdot 10^{-11}$
	В килограммах в час					
CO <sub>2</sub>	841,60	239,30	132,22	107,07	70,02	37,06
Азот	1653,85	3666,25	373,69	3292,57	408,46	2884,11
CH <sub>4</sub>	69526,9	100965,68	15803,14	85162,54	16565,24	68597,3
	2					
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6239,65	2278,99	1093,90	1185,09	686,64	498,46
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	4760,33	519,64	410,41	109,23	94,31	14,92
i-C <sub>4</sub>	1461,08	63,84	58,47	5,37	5,11	0,25
C-4	1068,57	32,43	30,59	1,84	1,78	0,06
i-C <sub>5</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C-5	1653,67	13,90	13,71	0,19	0,18	0
OST	5405,27	3,28	3,28	0	0	0
H <sub>2</sub> O	345,35	0,22	0,22	0	0	0
Метанол	170,30	0,47	0,47	0	0	0
SUMM	93126,6	107784,00	17920,1	89863,9	17831,75	72032,15

<sup>2</sup> На входе в сепаратор суммарный расход равен 200910,6 кг/час  
Ж – жидкая фаза, Г – газовая фаза

Таблица 3

## Результаты расчета процесса сепарации

Потоки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Расход, кг/час	
	газ	нефть	газ	нефть
вход	0,0	341,29	–	200910,60
1 сепаратор	0,759	371,64	107784,0	93126,6
Влагосодержание WLS = 0,00161 г/м <sup>3</sup> , содержание C3+ = 9,493 г/м <sup>3</sup> , содержание C5+ = 0,415 г/м <sup>3</sup> , содержание C3+ = 0,482 мольн,%, содержание C5+ = 0,0129 мольн,%.				
2 сепаратор	0,747	325,78	89863,9	17920,1
Влагосодержание WLS = 1,28E-06 г/м <sup>3</sup> , содержание C3+ = 2,393 г/м <sup>3</sup> , содержание C5+ = 6,64·10 <sup>-3</sup> г/м <sup>3</sup> , содержание C3+ = 0,122 мольн,%, содержание C5+ = 2,06·10 <sup>-4</sup> мольн,%.				
3 сепаратор	0,743	315,71	72032,15	17831,8
Влагосодержание WLS = 3,76E-10 г/м <sup>3</sup> , содержание C3+ = 0,408 г/м <sup>3</sup> , содержание C5+ = 5,13·10 <sup>-5</sup> г/м <sup>3</sup> , содержание C3+ = 0,021 мольн,%, содержание C5+ = 1,59·10 <sup>-6</sup> мольн,%.				

Блок-схема алгоритма расчета процесса сепарации представлена на рис. 3.

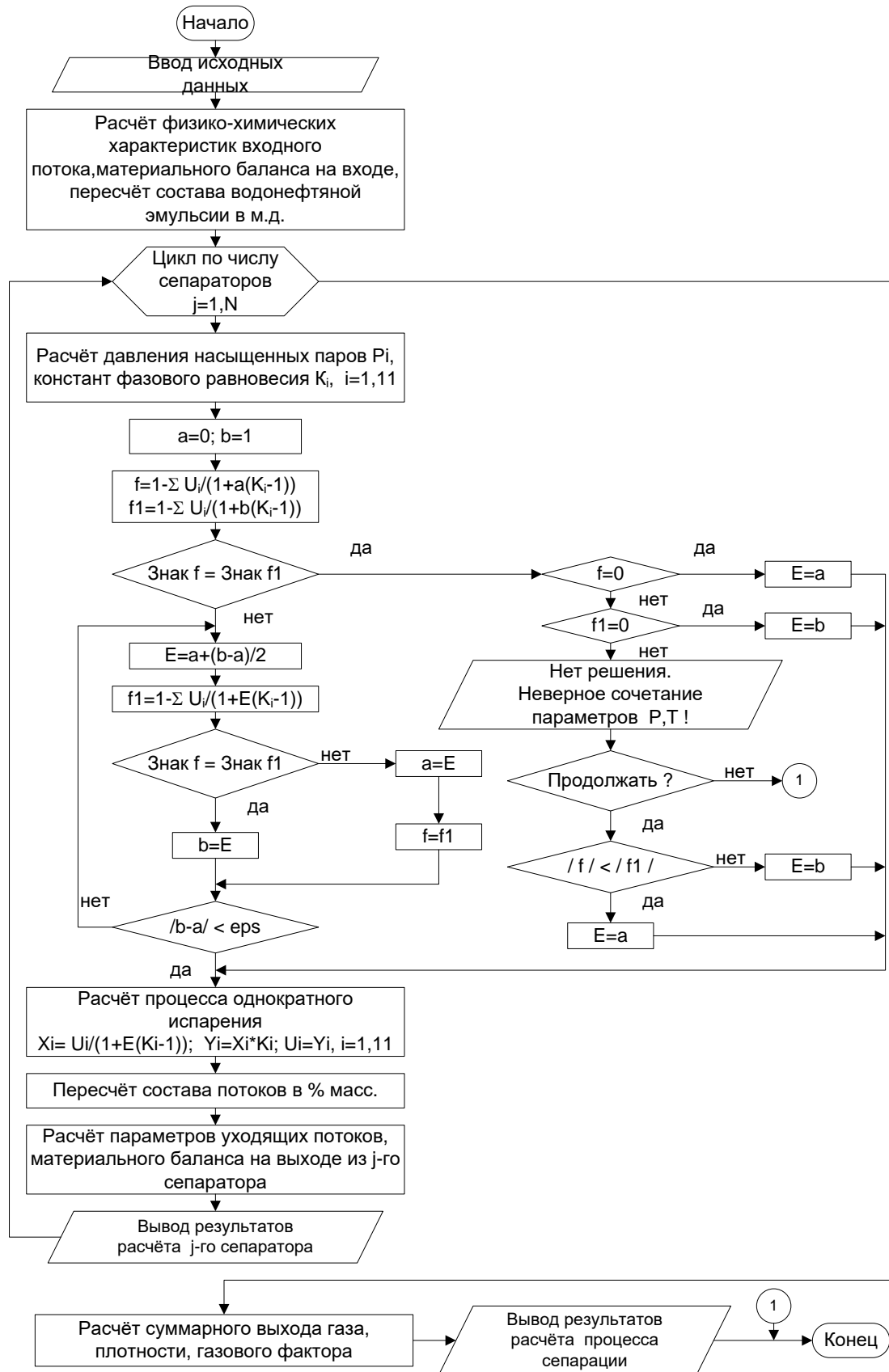


Рис. 3. Блок-схема программы расчета процесса сепарации.



## 9.4. Варианты заданий

Таблица 4

Технологические параметры каскада сепараторов  
и задания на исследования

Вар. №	Технологические параметры сепараторов			Исследовать влияние
	сепаратор 1	сепаратор 2	сепаратор 3	
1	$P_1=5,9$ МПа; $T_1=20,3$ °С	$P_2=5,1$ МПа; $T_2=12,7$ °С	$P_3=4,1$ МПа; $T_3=-35,0$ °С	температуры в первом сепараторе
2	$P_1=5,9$ МПа; $T_1=20,3$ °С	$P_2=5,1$ МПа; $T_2=12,7$ °С	$P_3=4,1$ МПа; $T_3=-35,0$ °С	давления в первом сепараторе
3	$P_1=5,9$ МПа; $T_1=20,3$ °С	$P_2=5,1$ МПа; $T_2=12,7$ °С	$P_3=4,1$ МПа; $T_3=-35,0$ °С	температуры во втором сепараторе
4	$P_1=5,9$ МПа; $T_1=20,3$ °С	$P_2=5,1$ МПа; $T_2=12,7$ °С	$P_3=4,1$ МПа; $T_3=-35,0$ °С	давления во втором сепараторе
5	$P_1=5,9$ МПа; $T_1=20,3$ °С	$P_2=5,1$ МПа; $T_2=12,7$ °С	$P_3=4,1$ МПа; $T_3=-35,0$ °С	температуры в третьем сепараторе
6	$P_1=5,9$ МПа; $T_1=20,3$ °С	$P_2=5,1$ МПа; $T_2=12,7$ °С	$P_3=4,1$ МПа; $T_3=-35,0$ °С	давления в третьем сепараторе
7	$P_1=4,5$ МПа; $T_1=14,0$ °С	$P_2=4,2$ МПа; $T_2=-21,0$ °С	$P_3=4,0$ МПа; $T_3=-38,0$ °С	температуры в первом сепараторе
8	$P_1=4,5$ МПа; $T_1=14,0$ °С	$P_2=4,2$ МПа; $T_2=-21,0$ °С	$P_3=4,0$ МПа; $T_3=-38,0$ °С	давления в первом сепараторе
9	$P_1=4,5$ МПа; $T_1=14,0$ °С	$P_2=4,2$ МПа; $T_2=-21,0$ °С	$P_3=4,0$ МПа; $T_3=-38,0$ °С	температуры во втором сепараторе
10	$P_1=4,5$ МПа; $T_1=14,0$ °С	$P_2=4,2$ МПа; $T_2=-21,0$ °С	$P_3=4,0$ МПа; $T_3=-38,0$ °С	давления во втором сепараторе
11	$P_1=4,5$ МПа; $T_1=14,0$ °С	$P_2=4,2$ МПа; $T_2=-21,0$ °С	$P_3=4,0$ МПа; $T_3=-38,0$ °С	температуры в третьем сепараторе
12	$P_1=4,5$ МПа; $T_1=14,0$ °С	$P_2=4,2$ МПа; $T_2=-21,0$ °С	$P_3=4,0$ МПа; $T_3=-38,0$ °С	давления в третьем сепараторе
13	$P_1=5,6$ МПа; $T_1=18,0$ °С	$P_2=5,4$ МПа; $T_2=-10,0$ °С	$P_3=5,2$ МПа; $T_3=-20,0$ °С	температуры в первом сепараторе
14	$P_1=5,6$ МПа; $T_1=18,0$ °С	$P_2=5,4$ МПа; $T_2=-10,0$ °С	$P_3=5,2$ МПа; $T_3=-20,0$ °С	давления в первом сепараторе

Вар. №	Технологические параметры сепараторов			Исследовать влияние
	сепаратор 1	сепаратор 2	сепаратор 3	
15	$P_1=5,6$ МПа; $T_1=18,0$ °С	$P_2=5,4$ МПа; $T_2=-10,0$ °С	$P_3=5,2$ МПа; $T_3=-20,0$ °С	температуры во втором сепараторе
16	$P_1=5,6$ МПа; $T_1=18,0$ °С	$P_2=5,4$ МПа; $T_2=-10,0$ °С	$P_3=5,2$ МПа; $T_3=-20,0$ °С	давления во втором сепараторе
17	$P_1=5,6$ МПа; $T_1=18,0$ °С	$P_2=5,4$ МПа; $T_2=-10,0$ °С	$P_3=5,2$ МПа; $T_3=-20,0$ °С	температуры в третьем сепараторе
18	$P_1=5,6$ МПа; $T_1=18,0$ °С	$P_2=5,4$ МПа; $T_2=-10,0$ °С	$P_3=5,2$ МПа; $T_3=-20,0$ °С	давления в третьем сепараторе

### 9.5. Порядок выполнения исследований

1. Ознакомиться с методикой расчета процесса однократного испарения.

2. Ознакомиться с блок-схемой программы расчета процесса разделения многокомпонентной смеси в газовых сепараторах.

3. Создать компьютерную программу (желательно на Delphi) и на основе исходных данных компонентного состава (табл. 1) получить результаты, представленные в табл. 2 и 3. Совпадение полученных данных с табличными гарантирует правильность работы программы.

4. Исследовать влияние технологических параметров на процесс сепарации в соответствии с вариантом из табл. 4. Выбор варианта см. в начале раздела 9.

5. Результаты расчетов по п.4 представить в виде таблиц и графиков.

6. В отчёте привести листинг программы, скриншоты, подтверждающие работоспособность программы.

7. Сделать краткие выводы.

8. Ответить на контрольные вопросы.

## 9.6. Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные типы сепараторов.
2. Что такое газовый конденсат? Какие компоненты входят в состав газовой фазы?
3. Под действием каких сил происходит разделение газовой и жидкой фазы?
4. Что такое константа фазового равновесия? От каких параметров она зависит?
5. Как рассчитывается доля отгона в процессе сепарации?

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИКИ

1. Основная образовательная программа высшего профессионального образования Национального исследовательского Томского политехнического университета. Направление 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтегазовой отрасли)/сост. Е.И. Громаков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – 58 с.

2. Кравцов А.В. и др. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Лабораторный практикум/ А.В. Кравцов и др. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2004. – С. 57–71. – Режим доступа: [portal.tpu.ru:7777/SHARED/p/POGADAeva/Ucheba/Tab/Tab/UchebPosobie.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/p/POGADAeva/Ucheba/Tab/Tab/UchebPosobie.pdf)).

3. Новиков А.А. Введение в информатику процессов переработки нефти/ А.А. Новиков, А.А. Хамухин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 232 с.

4. Мойзес О.Е. Углубленный курс информатики [Электронный ресурс]: учебное пособие/ О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Заглавие с титульного экрана. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m365.pdf>

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИКИ**

При прохождении практики в Отделении автоматизации и робототехники (АиР) студенты используют прикладное программное обеспечение:

1. Пакет программ Microsoft Office.
2. Система программирования Delphi 2007.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### *Образец титульного листа отчета по учебной практике*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт электронного обучения  
Отделение автоматизации и робототехники

### **О Т Ч Е Т** по учебной практике (часть 2) Вариант № \_\_\_\_

с «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
по «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Студент III курса \_\_\_\_\_ группы

\_\_\_\_\_  
(фамилия и инициалы)

Шифр зачетной книжки Д-8Т51/23

Руководитель практики, должность

\_\_\_\_\_  
(фамилия и инициалы)

Томск – 20\_\_ г.

Учебное издание

## УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА Часть 2

Программа, методические указания и индивидуальные задания

*Составитель*

СЕМЁНОВ Николай Михайлович

*Рецензент*

*кандидат технических наук,  
доцент отделения AuP ИШИТР*

*Е.И. Громаков*

Компьютерная верстка *В.П. Зимин*




---

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)