

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра химических технологий
и переработки энергоносителей**

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 18.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

УДК 66.0 (073)

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *О.В. Зырянова, Т.А. Александрова, С.М. Косолапова*. СПб, 2019. 35 с.

Методические указания предназначены для оказания помощи студенту при выполнении самостоятельной работы. Они включают темы для изучения дисциплины, контрольные вопросы для самопроверки, примеры расчета технологического оборудования с индивидуальными заданиями для самостоятельной работы, список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 18.03.01 «Химическая технология».

Научный редактор проф. *Н.К. Кондрашева*

Рецензенты: Научно-технический совет ООО «Институт Гипроникель»

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью изучения дисциплины «Общая химическая технология» является приобретение студентами знаний, включающих общие понятия, закономерности химико-технологических процессов применительно к основным типам реакторов и химико-технологических систем, закономерности гомогенных и гетерогенных, каталитических и некаталитических процессов.

Реальное химическое производство представляет собой совокупность большого числа взаимосвязанных технологических процессов и аппаратов, предназначенных для переработки сырья в продукты потребления.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать технологию и общие принципы осуществления наиболее распространенных химических процессов переработки природных энергоносителей и получения углеродных материалов; различные способы рекуперации и утилизации газовых, жидких и твердых отходов металлургической промышленности; структуру химико-технологических систем; методы описания химико-технологических систем.

Текущая самостоятельная работа студентов направлена на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений и заключается в:

- работе бакалавров с лекционным материалом, поиске и анализе материалов из литературных и электронных источников информации по заданной теме;
- изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку.

При работе с теоретическим материалом следует ответить на вопросы, приведенные в конце каждого раздела.

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется в форме устного опроса и выполнении индивидуальных заданий.

ЗАДАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Самостоятельная работа – обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента, направленная на:

- систематизацию, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений;
- формирование умений использовать различные информационные источники: нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, творческой инициативы, ответственности и организованности;
- развитие исследовательских умений.

Самостоятельная работа по дисциплине «Общая химическая технология» включает изучение дополнительных материалов, выполнение расчетно-графического задания.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые незнакомые термины и названия, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока

тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач – один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий
1.	Введение. Основные закономерности химико-технологического процесса.	Цели и задачи дисциплины. Механическая и химическая технологии. Производство неорганических и органических веществ. Основные технологические понятия и определения: производительность, интенсивность, расходные коэффициенты, степень превращения, выход продукта, селективность. Материальный и энергетический балансы химического производства
2.	Общие закономерности химических процессов. Химический катализ	Классификация химических реакций. Факторы, влияющие на состояние равновесия. Сдвиг равновесия под влиянием температуры, давления, концентрации реагирующих веществ. Каталитические процессы. Общие закономерности каталитических реакций. Гетерогенный катализ. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций. Свойства и приготовление твердых катализаторов.
3.	Химические	Классификации реакторов. Реакторы

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий
	реакторы	периодические. Реакторы непрерывного действия. Реактор идеального вытеснения. Реактор идеального смешения. Каскад реакторов. Полунепрерывные реакторы.
4.	Химико-технологические системы	Химическое производство как сложная система. Модели химико-технологических систем. Способы изображения схем. Технологические связи.
5.	Энергия в химическом производстве	Классификация топливно-энергетических ресурсов. Технологические характеристики топлива. Топливно-энергетический комплекс. Использование вторичных энергетических ресурсов. Основные направления повышения эффективности использования сырьевых и топливно-энергетических ресурсов.

Для подготовки к промежуточному контролю обучающийся должен сопоставить приобретенные знания, умения, навыки и опыт с указанными в рабочей программе дисциплины, проверить себя, ответив на контрольные вопросы и, в случае необходимости, еще раз изучить литературные источники и обратиться к преподавателю за консультацией.

Тематика для самостоятельной подготовки

Раздел 1. Введение. Основные закономерности химико-технологического процесса

1. Дайте характеристику основным стадиям химико-технологического процесса.

2. Дайте определение производительности, интенсивности, расходному коэффициенту, степени превращения.
3. Что такое скорость химической реакции?
4. Что такое материальные потоки, каких они могут быть видов?
5. Что положено в основу энергетического баланса?

Раздел 2. Общие закономерности химических процессов.

Химический катализ

1. Какие факторы влияют на состояние равновесия?
2. Сформулируйте принцип Ле-Шателье.
3. Сдвиг равновесия под влиянием температуры.
4. Сдвиг равновесия под влиянием концентрации реагирующих веществ.
5. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций.

Раздел 3. Химические реакторы

1. Какие признаки принимают во внимание при классификации реакторов?
2. Принцип действия реактора идеального смешения периодического и математическое описание его модели.
3. Принцип действия реактора идеального вытеснения (РИВ) и уравнение для РИВ.
4. Принцип действия реактора идеального смешения непрерывного (РИС-Н) и его уравнение.
5. Каскад реакторов идеального вытеснения (К-РИВ).

Раздел 4. Химико-технологические системы

1. Какие признаки принимают во внимание при классификации реакторов?
2. Что представляет собой химико-технологическая система?
3. Опишите иерархическую структуру ХТС.
4. Опишите схему с открытой цепью.
5. Дайте характеристику циклической схеме

Раздел 5. Энергия в химическом производстве

1. Перечислите основные виды энергетических ресурсов в современных условиях.
2. Что относится к возобновляемым и невозобновляемым энергетическим ресурсам?

3. Что называется вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР)?

4. Перечислите основные технологические характеристики топлива.

5. Какие утилизационные установки наиболее распространены в различных отраслях народного хозяйства?

Примерный перечень вопросов/заданий по дисциплине:

1. Дайте характеристику основным стадиям химико-технологического процесса.

2. Дайте определение производительности, интенсивности, расходному коэффициенту, степени превращения.

3. Что такое скорость химической реакции?

4. Что такое материальные потоки, каких они могут быть видов?

5. Что положено в основу энергетического баланса?

6. Что является статьями прихода и расхода в тепловом балансе?

7. Какие факторы влияют на состояние равновесия?

8. Сформулируйте принцип Ле-Шателье.

9. Сдвиг равновесия под влиянием температуры.

10. Сдвиг равновесия под влиянием концентрации реагирующих веществ.

11. Сдвиг равновесия под влиянием давления.

12. Общие закономерности каталитических реакций.

13. Гетерогенный катализ.

14. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций.

15. Какими основными показателями характеризуют качество катализаторов?

16. Какие признаки принимают во внимание при классификации реакторов?

17. Принцип действия реактора идеального смешения периодического и математическое описание его модели.

18. Принцип действия реактора идеального вытеснения (РИВ) и уравнение для РИВ.

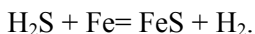
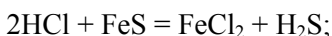
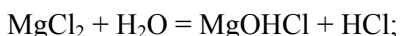
19. Принцип действия реактора идеального смешения непрерывного (РИС-Н) и его уравнение.
20. Каскад реакторов идеального вытеснения (К-РИВ).
21. Какие признаки принимают во внимание при классификации реакторов?
22. Что представляет собой химико-технологическая система?
23. Опишите иерархическую структуру ХТС.
24. Опишите схему с открытой цепью.
25. Дайте характеристику циклической схеме.
26. Какие модели ХТС, по определению В.В. Кафарова, существует?
27. Дайте характеристику каждой модели.
28. Перечислите основные виды энергетических ресурсов в современных условиях.
29. Что относится к возобновляемым и невозобновляемым энергетическим ресурсам?
30. Что называется вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР)?
31. Перечислите основные технологические характеристики топлива.
32. На какие группы по виду энергии разделяют ВЭР?
33. Какие утилизационные установки наиболее распространены в различных отраслях народного хозяйства?
34. Перечислите и охарактеризуйте основные направления повышения эффективности использования сырьевых и топливно-энергетических ресурсов.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Качество товарной нефти регламентируется ГОСТ Р 51858 и непосредственно влияет на износ оборудования и характеристики, получаемых в ходе процесса, целевых продуктов. Добываемая на месторождениях сырая нефть содержит минерализованную пластовую воду, механические примеси и растворённые газы и не отвечает требованиям ГОСТ. Именно поэтому прежде перед

прохождением через процессы основных установок, сырая нефть проходит очистку и подготовку к транспортировке ещё на месторождениях.

Деэмульсация нефти и отделение пластовой воды очень значимо для нефтепромысла, так как растворённые в воде соли хлоридов (магния, кальция, натрия и др.) гидролизуются при температурах выше 100 °С с образованием соляной кислоты, что вызывает цикл реакций (хлороводородистую коррозию), разрушающих материал аппаратов и трубопровода:



На нефтеперерабатывающем предприятии сырая нефть проходит обработку на электрообессоливающей установке ЭЛОУ.

Ниже представлены теоретические основы расчёта блока электродегидраторов установки обезвоживания. Расчёт поделён на отдельные небольшие задачи с примером их решения.

В основу расчёта электрообессоливающей установки входят следующие задачи:

- 1) Расчёт расхода воды и выбор схемы промывки;
- 2) Определение температурного режима процесса;
- 3) Расчёт расхода деэмульгатора;
- 4) Расчёт материального баланса установки;
- 5) Расчёт конструктивных размеров аппарата.

При проектировании установки задаются следующими параметрами:

- 1) G – производительность установки по сырью, т/ч;
- 2) Содержание солей $C_{с.в}$ (г/м³) и воды $C_{в.н}$ (% масс.) в нефти на входе;
- 3) Содержание воды $C''_{в.н} \leq 0,2\%$ (масс.) и солей $C_{в.н}$ (г/м³) в нефти на выходе;
- 4) Содержание солей в промывочной воде $C_{с.пр} \leq 300$ г/м³;
- 5) Содержание воды в нефти после первой ступени $C'_{в.н} \leq 0,25\%$ (масс.);

1. РАСХОД ВОДЫ НА ПРОМЫВКУ

Исходные данные:

$C_{в.н.}$ – начальная обводненность эмульсии, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (объёмные доли);

$C_{с.в.}$ – содержание солей в пластовой воде. $\text{г}/\text{м}^3$;

Содержание солей в нефти можно определить по следующей формуле:

$$C_{с.н.} = C_{в.н.} \cdot C_{с.в.}, \quad (1.1)$$

где $C_{в.н.}$ – начальная обводненность эмульсии, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (объёмные доли); $C_{с.в.}$ – содержание солей в пластовой воде. $\text{г}/\text{м}^3$.

На промысле значения концентрации солей в пластовой воде и содержания воды в нефти получают в лаборатории, где проводятся испытания по ГОСТ 21534-76 и ГОСТ 2477-65. Нефть, поступающая на нефтеперерабатывающие заводы с промыслов должна соответствовать нормам ГОСТ Р 51858, в соответствии с которым по содержанию солей нефть классифицируют на три группы (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Группы нефти по содержанию солей

Примеси	Группа нефти		
	I	II	III
Хлориды, мг/л (не более)	100	300	1800
Вода, %масс (не более).	0,5	1	1
Мех. примеси %масс. (не более)	0,005	0,05	0,05

Концентрация солей в нефти на производстве не должна превышать 5 мг/л, однако простое обезвоживание ведёт к пропорциональному снижению концентрации (этот вывод можно сделать из уравнения (1.1)) и не позволяет достичь нужного результата. Поэтому на этапе подготовки нефть промывают сначала отделённой пластовой, затем чистой водой (для экономии ресурса).

Допустим идеальное смешение воды в эмульсии с добавляемой пресной водой. Тогда концентрация солей в нефти после электрообессоливания будет равна:

$$C_{\text{н}} = \frac{C_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{с.в.}} + G_{\text{в}} \cdot C_{\text{в.пр.}}}{C_{\text{в.н.}} + G_{\text{в}}} \cdot \frac{C'_{\text{в.н.}}}{C_{\text{в.н.}}}, \quad (1.2)$$

где $C_{\text{в.н.}}$, $C'_{\text{в.н.}}$ – содержание воды в нефти, поступающей и уходящей (таблица 1) с установки, %(масс.) на нефть; $G_{\text{в}}$ – расход пресной воды, добавляемой для промывки, %(масс.) на нефть; $C_{\text{с.в.}}$, $C_{\text{в.пр.}}$ – содержание солей в пластовой и пресной воде, подаваемой на промывку, мг/л.

При двухступенчатом электрообессоливании могут использоваться *последовательная* и *противоточная* схемы подачи воды (рис. 1).

На первой схеме в процессе участвует только пресная вода, которая подаётся отдельно перед каждой ступенью. Во второй схеме пресную воду подают только перед последним этапом, а дренажную воду направляют не предыдущий.

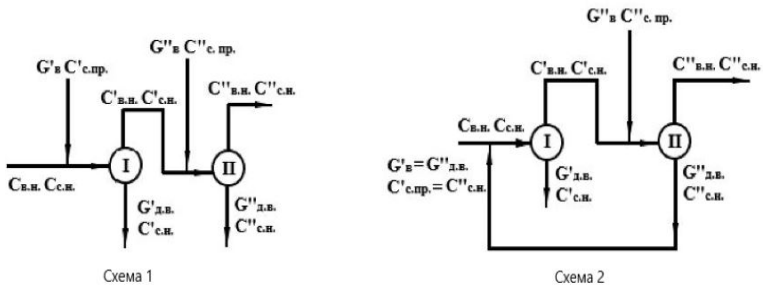


Рис. 1 Последовательная и противоточная схемы подачи воды

Противоточная схема позволяет снизить расход пресной воды. На схемах опущены потоки нефти, деэмульгаторов и, раствора щёлочи и ингибиторов коррозии и указаны только водные потоки, поскольку для расчёта расхода воды необходима только их характеристика: расход дренажной воды, содержание воды в нефти и концентрация солей в потоках.

Зависимость содержания солей в нефти $C_{\text{с.н.}}$ от содержания солей в промывочной воде $C_{\text{с.пр.}}$ выражается уравнением (1.3):

$$C_{\text{с.н.}} = 10^{-5} C_{\text{с.пр.}} G_{\text{в}} \rho_{\text{н}}, \quad (1.3)$$

где $G_{\text{в}}$ – расход промывочной воды, %(масс.) на нефть; $\rho_{\text{н}}$ – плотность нефти, кг/м³.

Расчёт схемы 1

При полном смешении промывочной воды с эмульсией концентрации солей в нефти будут соответственно равны:

$$C'_{\text{с.н.}} = \frac{C_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{с.н.}} + G'_{\text{в}} \cdot C'_{\text{с.пр.}}}{C_{\text{в.н.}} + G'_{\text{в}}}, \quad (1.4)$$

$$C''_{\text{с.н.}} = \frac{C'_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{с.н.}} + G''_{\text{в}} \cdot C''_{\text{с.пр.}}}{C'_{\text{в.н.}} + G''_{\text{в}}}. \quad (1.5)$$

Концентрации солей в промывочной воде $C'_{\text{в}}$ и $C''_{\text{в}}$ значительно меньше концентраций в нефти $C_{\text{с.н.}}$ и $C'_{\text{с.н.}}$, поэтому мы можем ими пренебречь. Тогда уравнения (1.4) и (1.5) примут вид:

$$C'_{\text{с.н.}} = C_{\text{с.н.}} \left(1 + \frac{G'_{\text{в}}}{C_{\text{в.н.}}} \right)^{-1}, \quad (1.6)$$

$$C''_{\text{с.н.}} = C'_{\text{с.н.}} \left(1 + \frac{G''_{\text{в}}}{C'_{\text{в.н.}}} \right)^{-1}. \quad (1.7)$$

Подставим 1.6 в 1.7:

$$C''_{\text{с.н.}} = C_{\text{с.н.}} \left[\left(1 + \frac{G'_{\text{в}}}{C_{\text{в.н.}}} \right) \left(1 + \frac{G''_{\text{в}}}{C'_{\text{в.н.}}} \right) \right]^{-1}. \quad (1.8)$$

Если расходы промывочной воды перед первым и вторым этапами равны, то:

$$G'_{\text{в}} = G''_{\text{в}}$$

$$\frac{C_{\text{с.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{в.н.}}}{C''_{\text{с.н.}}} = (C_{\text{в.н.}} + G'_B)(C'_{\text{в.н.}} + G'_B)$$

$$(G'_B)^2 + (C_{\text{в.н.}} + C'_{\text{в.н.}})G'_B + C_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{в.н.}} - \frac{C_{\text{с.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{в.н.}}}{C''_{\text{с.н.}}} = 0 \quad (1.9)$$

Решаем квадратное уравнение и находим ответ. Для трёхступенчатой схемы аналогия сохраняется:

$$C'''_{\text{с.н.}} = C_{\text{с.н.}} \left[\left(1 + \frac{G'_B}{C_{\text{в.н.}}} \right) \left(1 + \frac{G''_B}{C'_{\text{в.н.}}} \right) \left(1 + \frac{G'''_B}{C''_{\text{в.н.}}} \right) \right]^{-1} \quad (1.10)$$

Расчёт схемы 2

Аналогично схеме 1:

$$C_{\text{с.н.}} = \frac{C_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{с.н.}} + G''_B \cdot C''_{\text{с.н.}}}{C_{\text{в.н.}} + G''_{\text{д.в.}}} \quad (1.11)$$

$$C''_{\text{с.н.}} = \frac{C'_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{с.н.}} + G''_B \cdot C''_{\text{с.пр.}}}{C'_{\text{в.н.}} + G''_B} \quad (1.12)$$

Снова пренебрегаем слагаемым $G''_B \cdot C''_{\text{с.пр.}}$. Предположим, что $G''_{\text{д}} \approx G''_B$ и подставим (1.10) в (1.11):

$$C''_{\text{с.н.}} = \frac{C'_{\text{в.н.}} (C_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{с.н.}} + G''_B \cdot C_{\text{с.н.}})}{(C'_{\text{в.н.}} + G''_B)(C_{\text{в.н.}} + G''_B)} \quad (1.13)$$

$$C'_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot C''_{\text{с.н.}} + G''_B (C_{\text{в.н.}} \cdot C''_{\text{с.н.}} + C'_{\text{в.н.}} \cdot C''_{\text{с.н.}}) + (G''_B)^2 \cdot C''_{\text{с.н.}} - C'_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{с.н.}} - C'_{\text{в.н.}} \cdot G''_B \cdot C''_{\text{с.н.}} = 0,$$

$$(G''_B)^2 + C_{\text{в.н.}} \cdot G''_B + \frac{C'_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} (C''_{\text{в.н.}} - C''_{\text{с.н.}})}{C''_{\text{с.н.}}} = 0, \quad (1.14)$$

Решаем квадратное уравнение.

Задача 1. Рассчитать расход промывной воды для последовательной и противоточной двухступенчатой схемы ЭЛОУ при обессоливании нефти до остаточного содержания воды $C''_{в.н.}=0,2\%$ и солей $C''_{с.н.}=5 \text{ г/м}^3$, используя исходные данные в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные

№	$C_{с.в.}, \text{ г/м}^3$	$\rho_{н}, \text{ г/м}^3$
Пример	1000	0,900
1	1200	0,890
2	350	0,850
3	1750	0,920
4	596	0,875
5	95	0,740
6	631	0,920
7	435	0,855
8	16	0,836
9	780	0,924
10	268	0,766

Пример расчёта

В соответствии с ГОСТ Р 51858 нефть относится ко второй группе, значит содержание воды в ней составляет $C_{в.н.}=1\%$ (масс.). Пересчитаем концентрацию солей в пластовой воде по формуле (1.3):

$$C_{с.в.} = \frac{C_{с.н.}}{10^{-5} C_{в.н.} \rho_{н}} = \frac{1000}{10^{-5} \cdot 1 \cdot 900} = 111000 \text{ г/м}^3,$$

$$C''_{с.в.} = \frac{C''_{с.н.}}{10^{-5} C''_{в.н.} \rho_{н}} = \frac{5}{10^{-5} \cdot 0,2 \cdot 900} = 2770 \text{ г/м}^3,$$

Схема 1. При условии $G'_в = G''_в$ расчёт схемы сводится к решению квадратного уравнения (1.9):

$$G'_B = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где $a = 1$;

$$b = (C_{\text{в.н.}} + C'_{\text{в.н.}}) = 1 + 0,25 = 1,25$$

$$c = C_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{в.н.}} - \frac{C_{\text{с.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot C'_{\text{в.н.}}}{C''_{\text{с.н.}}} = 1 \cdot 0,25 - \frac{1 \cdot 0,25 \cdot 111000}{2770} = -9,75$$

$$G'_B = \frac{-1,25 + \sqrt{1,25^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-9,75)}}{2 \cdot 1} = 2,55\%,$$

Тогда общий расход будет равен:

$$G_B = 2G'_B = 2 \cdot 2,55 = 5,1(\%)$$

Схема 2. Для противоточной схемы решаем уравнение (1.14):

$$(G''_B)^2 + C_{\text{в.н.}} \cdot G''_B + \frac{C'_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} (C''_{\text{в.н.}} - C''_{\text{с.н.}})}{C''_{\text{с.н.}}} = 0,$$

$$a = 1;$$

$$b = C_{\text{в.н.}} = 1,$$

$$c = \frac{C'_{\text{в.н.}} \cdot C_{\text{в.н.}} (C''_{\text{в.н.}} - C''_{\text{с.н.}})}{C''_{\text{с.н.}}} = \frac{0,25 \cdot 1 (2770 - 111000)}{2770} = -9,77,$$

$$G''_B = G_B = \frac{-1 + \sqrt{1^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-9,77)}}{2 \cdot 1} = 2,66\%.$$

Расход промывочной воды в схеме 2 оказался почти в два раз ниже, исходя из чего, можно сделать вывод о большей эффективности противоточной схемы подачи воды.

2. ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА ЭМУЛЬСИИ

С повышением температуры ускоряется коалесценция глобул в эмульсии ВН (вода в нефти) за счёт уменьшения вязкости, увеличения растворения и скорости диффузии естественных эмульгаторов в нефти, снижается расход деэмульгатора.

При расчёте используют номограмму Семенидо, по ней находят температуру, при которой вязкость нефти равнялась бы 2-4 мм²/с.

Для расчёта необходимо знать два значения вязкости нефти при определённых температурах (в справочниках указывают при 20 °С и 50 °С). Известные две точки наносятся на номограмму, через них проводят прямую до пересечения с линией вязкости на номограмме, соответствующей, например, 4 мм²/с (Приложение 1).

На практике температурный режим подбирается индивидуально с учётом других параметров процесса. Так, повышение температуры влечёт за собой затраты на электроэнергию за счёт повышения электрической проводимости эмульсии и снижения напряжения электрического поля. Появляются дополнительные затраты на охлаждение дренажной воды перед сбором в канализацию. Поэтому дальнейшее повышение температуры до 120 °С и выше теряет рациональный смысл.

Задача 2. Определите температурный режим по номограмме (Приложение 1), используя данные таблицы 3.

3. РАСХОД ДЕЭМУЛЬГАТОРА

Деэмульгаторы – вещества, обладающие высокой поверхностной активностью. Они вытесняют естественные эмульгаторы, присутствующие в нефти, из поверхностного слоя капель воды в эмульсии, разрушая тем самым его структурно-механическую прочность.

На УПН (установка подготовки нефти) и ЭЛОУ (электрообессоливающая установка) могут применяться нефте- и водорастворимые деэмульгаторы. Предпочтительнее применять нефтерастворимые деэмульгаторы, которые отличаются большей эффективностью, и не загрязняют дренажную воду.

Таблица 3

Вязкости нефтей

№	Нефть	ρ_4^{20} , г/см ³	ν_{20} , сСт	ν_{50} , сСт	ν_t , сСт
Пример	Локосовская	–	19,5	7,75	4,00
1	Западноэбукская	0,849	13,76	5,72	2,00
2	Джъерская	0,843	9,20	4,26	2,50
3	Нижнеомринская	0,823	6,20	3,14	3,50
4	Майкорская	0,871	22,39	9,36	4,00
5	Васильевская	0,859	15,23	6,63	2,00
6	Истокская	0,830	5,40	3,15	2,50
7	Югомашевская	0,905	25,20	8,30	3,00
8	Игровская	0,898	47,80	17,00	3,25
9	Арланская	0,878	15,00	6,80	3,50
10	Сергеевская	0,870	17,00	7,80	4,00
11	Жигулёвская	0,852	10,77	4,51	2,00
12	Губкинская	0,811	3,16	2,09	2,86
13	Чехонская	0,802	5,41	3,72	3,00
14	Новопортовская	0,854	7,29	2,94	3,50

Нефтерастворимые деэмульгаторы можно подавать только на первую ступень, на приём сырьевого насоса. Для водорастворимых деэмульгаторов такая схема не рациональна, так как часть реагента будет вымываться водой на каждой следующей ступени. Поэтому в расчёт вводится коэффициент пропорциональности k ($k \in (0;1)$), который характеризует степень сохранения деэмульгатора в нефти после каждой ступени.

При расходе деэмульгатора перед I ступенью G_{II} на II ступень поступит уже kG_{II} деэмульгатора. После II ступени уже k^2G_{II} , и так далее в геометрической прогрессии до k^nG_{II} .

Коэффициент k определяется, как:

$$k = \eta \sqrt[n]{\frac{G_{\text{МИН}}}{G_{\text{Д}}}}, \quad (3.1)$$

где $G_{\text{МИН}}$ – минимальное необходимое для стабильной работы содержание реагента последней ступени; г/т.

Задача 3. Рассчитать расход деэмульгатора для трёхступенчатого процесса электрообессоливания, используя данные таблицы 4.

Таблица 3

Расход деэмульгатора

№	$G_{\text{МИН}}$, г/т	k
Пример	8	0,8
1	25	0,64
2	10	0,85
3	5	0,62
4	19	0,34
5	9	0,67
6	21	0,71
7	7	0,83
8	14	0,90
9	17	0,45
10	22	0,36

Пример решения

На I, II и III ступени соответственно поступит $G_{\text{Д}}$, $kG_{\text{Д}}$ и $k^2G_{\text{Д}}$ деэмульгатора. Через уравнение 1.15 выведем $G_{\text{Д}}$:

$$G_{\text{Д}} = \frac{G_{\text{МИН}}}{k^n} = \frac{8}{0,8^2} = 12,5, \text{ г/т}$$

Таким будет расход деэмульгатора, если подавать его только перед первой ступенью. Тогда на вторую и третью ступень соответственно будет поступать:

$$G_2 = kG_d = 0,8 \cdot 12,5 = 10, \text{ г/т}$$

$$G_3 = kG_d = 0,8 \cdot 10 = 8, \text{ г/т}$$

Если подавать деэмульгатор перед каждой ступенью отдельно, тогда:

$$G_d = G_{\text{мин}} = 8 (\text{г/т});$$

$$G_2 = kG_{\text{мин}} = 0,8 \cdot 8 = 6,4 \text{ г/т};$$

$$G_{d2} = 8 - 6,4 = 1,6 \text{ г/т};$$

$$G_3 = kG_2 = 0,8 \cdot 8 = 6,4, \text{ г/т}$$

$$G_{d3} = 8 - 6,4 = 1,6 \text{ г/т}$$

G_{d2} и G_{d3} – расход деэмульгатора, подаваемого перед II и III ступенью, г/т.

Тогда общий расход деэмульгатора составит:

$$G_{\Sigma} = G_d + G_{d2} + G_{d3} = 8 + 1,6 + 1,6 = 11,2 \text{ г/т.}$$

4. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС УСТАНОВКИ

При расчёте материального баланса применяют те же параметры, что были перечислены в расчёте расхода воды. К ним добавляется содержание нефти в дренажной воде, которое по ГОСТ Р 51858 $C_{н.д.} \leq 0,5 \%$ (масс.).

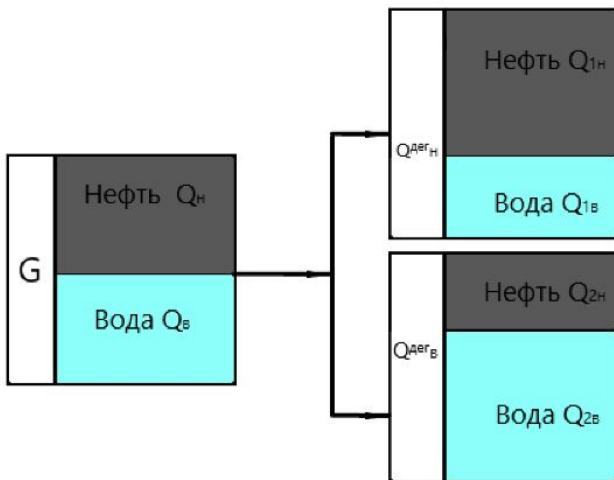


Рис. 2. Материальный баланс электродегидратора

Производительность установки по сырью G (т/ч) на входе будет включать в себя расход нефти Q_n (т/ч) и расход пластовой воды Q_b (т/ч):

$$Q_n = (1 - C_{в.н.}) \cdot G; \quad (4.1)$$

$$Q_b = C_{в.н.} \cdot G, \quad (4.2)$$

где $C_{в.н.}$ – обводненность нефти (здесь и далее в массовых долях)/

Если $Q_n^{дег} = H_1$ – общий расход нефти, а $Q_b^{дег} = B_1$ – общий расход дренажной воды на выходе из блока электродегидраторов, то можно составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} (1 - C_{в.н.}) \cdot G = (1 - C''_{в.н.}) \cdot H_1 + C_{н.д.} \cdot B_1 \\ C_{в.н.} \cdot G = C''_{в.н.} \cdot H_1 + (1 - C_{н.д.}) \cdot B_1 \end{cases} \quad (4.2)$$

Решим систему уравнений, найдём $Q_n^{дег}$ и $Q_b^{дег}$:

$$Q_{\text{в}}^{\text{дег}} = B_1 = \frac{C_{\text{в.н.}} \cdot G - C''_{\text{в.н.}} \cdot H_1}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \quad (4.3)$$

$$(1 - C_{\text{в.н.}}) \cdot G = (1 - C''_{\text{в.н.}}) \cdot H_1 + C_{\text{н.д.}} \cdot \frac{C_{\text{в.н.}} \cdot G - C''_{\text{в.н.}} \cdot H_1}{(1 - C_{\text{н.д.}})}$$

$$(1 - C_{\text{в.н.}}) \cdot G = (1 - C''_{\text{в.н.}}) \cdot H_1 + \frac{C_{\text{н.д.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot G}{(1 - C_{\text{н.д.}})} - \frac{C''_{\text{в.н.}}}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \cdot H_1$$

$$\left[(1 - C''_{\text{в.н.}}) - \frac{C''_{\text{в.н.}}}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \right] \cdot H_1 = (1 - C_{\text{в.н.}}) \cdot G - \frac{C_{\text{н.д.}} \cdot C_{\text{в.н.}} \cdot G}{(1 - C_{\text{н.д.}})}$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{дег}} = H_1 = \frac{\left[(1 - C_{\text{в.н.}}) - \frac{C_{\text{н.д.}} \cdot C_{\text{в.н.}}}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \right]}{\left[(1 - C''_{\text{в.н.}}) - \frac{C''_{\text{в.н.}}}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \right]} \cdot G \quad (4.4)$$

Учтём остаточное содержание воды и нефти:

$$Q_{1\text{н}} = (1 - C''_{\text{в.н.}}) Q_{\text{н}}^{\text{дег}}, \quad (4.5)$$

$$Q_{1\text{в}} = C''_{\text{в.н.}} Q_{\text{н}}^{\text{дег}} \quad (4.6)$$

$$Q_{2\text{н}} = C''_{\text{н.д.}} Q_{\text{в}}^{\text{дег}} \quad (4.7)$$

$$Q_{2\text{в}} = (1 - C''_{\text{н.д.}}) Q_{\text{в}}^{\text{дег}} \quad (4.8)$$

Правильность расчёта проверяют через равенство:

$$\sum Q_i^{\text{до дег}} = \sum Q_i^{\text{после дег}} \quad (4.9)$$

Материальный баланс оформляется в таблицу 4. Полученные значения в материальном балансе пересчитывают на тонны в год. На

практике в расчёте используется не полный календарный год (365 дней), а количество рабочих для установки дней.

Таблица 4

Материальный баланс

Приход				Расход			
	%, масс	т/ч	т/г		%, масс	т/ч	т/г
Неконденсированная нефть:				Товарная нефть:			
				Нефть			
Нефть				Вода			
				Всего			
				Пластовая вода:			
Вода				Вода			
				Нефть			
				Всего			
Итого				Итого			

Пример решения.

Исходные данные:

- 1) $G = 200$ т/ч;
- 2) $C_{в.н.} = 5$ % (масс.)
- 3) $C''_{в.н.} \leq 0,2$ % (масс.)
- 4) $C_{н.д.} = 0,5$ % (масс.)

Приход:

$$Q_n = (1 - C_{в.н.}) \cdot G = (1 - 0,05) \cdot 200 = 190 \text{ т/ч};$$

$$Q_b = C_{в.н.} \cdot G = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ т/ч}.$$

Расход:

$$\begin{cases} (1 - C_{в.н.}) \cdot G = (1 - C''_{в.н.}) \cdot H_1 + C_{н.д.} \cdot B_1 \\ C_{в.н.} \cdot G = C''_{в.н.} \cdot H_1 + (1 - C_{н.д.}) \cdot B_1 \end{cases}$$

$$Q_H^{\text{дег}} = H_1 = \frac{\left[(1 - C_{\text{в.н.}}) - \frac{C_{\text{н.д.}} \cdot C_{\text{в.н.}}}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \right]}{\left[(1 - C_{\text{в.н.}}) - \frac{C_{\text{в.н.}}}{(1 - C_{\text{н.д.}})} \right]} \cdot G =$$

$$= \frac{0,950 - \frac{0,005 \cdot 0,002}{0,995}}{0,998 - \frac{0,002}{0,995}} \cdot 200 = 190,3 \text{ т/ч}$$

$$Q_B^{\text{дег}} = B_1 = \frac{C_{\text{в.н.}} \cdot G - C_{\text{в.н.}} \cdot H_1}{(1 - C_{\text{н.д.}})} = \frac{10 - 0,002 \cdot 190,3}{0,995} = 9,7 \text{ т/ч}$$

В нефти:

$$Q_{1\text{н}} = (1 - C_{\text{в.н.}}) Q_H^{\text{дег}} = 0,998 \cdot 190,3 = 189,95 \text{ т/ч};$$

$$Q_{1\text{в}} = C_{\text{в.н.}} Q_H^{\text{дег}} = 0,002 \cdot 190,3 = 0,35 \text{ т/ч.}$$

В воде:

$$Q_{2\text{н}} = C_{\text{н.д.}} Q_B^{\text{дег}} = 0,005 \cdot 9,7 = 0,05 \text{ т/ч};$$

$$Q_{2\text{в}} = (1 - C_{\text{н.д.}}) Q_B^{\text{дег}} = 0,995 \cdot 9,7 = 9,65 \text{ т/ч.}$$

Проверка:

$$Q_{\text{н}} + Q_{\text{в}} = Q_{1\text{н}} + Q_{1\text{в}} + Q_{2\text{н}} + Q_{2\text{в}}$$

$$190 + 10 = 189,95 + 0,35 + 0,05 + 9,65$$

$$200 = 200$$

Таблица 5

Пример материального баланса

Приход				Расход			
	% масс.	т/ч	т/г		% масс.	т/ч	т/г
Неконденсированная нефть:				Товарная нефть:			
				Нефть	99,8	189,95	1595580
Нефть	95	190	1596000	Вода	0,2	0,35	2940
				Всего	100	190,3	1598520
				Пластовая вода:			
Вода	5	10	84000	Вода	99,5	9,65	81060
				Нефть	0,5	0,05	420
				Всего	100	9,7	81480
Итого	100	200	1680000	Итого	100	200	1680000

Задача 4. Рассчитать материальный баланс электродегидратора, исходя из данных таблицы 6.

Таблица 6

Варианты для задачи 4

№	G , т/ч	$C_{в.н.}$, % масс.	$C''_{в.н.}$, % масс.	$C_{н.д.}$, % масс.
1	220	30	0,2	0,5
2	240	20	0,1	0,5
3	250	5	0,15	0,5
4	270	60	0,2	0,5
5	290	30	0,1	0,5
6	320	18	0,15	0,5
7	410	25	0,2	0,5
8	450	5	0,1	0,5
9	480	10	0,15	0,5
10	360	5	0,2	0,5

5. РАСЧЁТ АППАРАТА

Электродегидраторы классифицируются на вертикальные (первые модели), горизонтальные и шаровые. В настоящее время наибольшее применение находят горизонтальные электродегидраторы ввиду следующих преимуществ:

- 1) Высокая удельная производительность;
- 2) Более благоприятные условия осаждения, которые можно оценить отношением S/V (S – средняя площадь горизонтального сечения, м^2 ; V – объём электродегидратора, м^3). Чем больше S/V , тем лучше условия коалесценции, так как снижается линейная скорость вертикального движения нефти, и водяные глобулы легче осаждаются;
- 3) Меньшая стоимость за счёт сравнительно небольшого диаметра электродегидраторов, способных работать при повышенных давлениях и температурах;
- 4) Меньшее количество электрооборудования и более простая электрическая схема.

Для эффективного отстоя в электродегидраторе должно соблюдаться следующее условие:

$$\tau \geq \tau_{\text{ос}}, \quad (5.1)$$

где τ – время пребывания нефти в электродегидраторе, ч; $\tau_{\text{ос}}$ – время осаждения капель воды, ч.

Время пребывания нефти в электродегидраторе можно определить по формуле:

$$\tau = \frac{h_3}{u_n}, \quad (5.2)$$

где h_3 – высота слоя эмульсии, м; u_n – скорость движения нефти при нижней подаче, м/ч.

Время для осаждения капель воды находим аналогично:

$$\tau_{\text{ос}} = \frac{h_3}{u_{\text{факт}}} = \frac{h_3}{(u_{\text{пок}} - u_n)}, \quad (5.3)$$

где $u_{\text{пок}}$ и $u_{\text{факт}}$ – соответственно скорость коалесценции воды в неподвижной среде и фактическая скорость того же процесса в потоке поднимающейся нефти, м/ч.

Подставим формулы (5.2) и (5.3) в неравенство (5.1):

$$\frac{h_3}{u_n} \geq \frac{h_3}{(u_{\text{пок}} - u_n)},$$

$$u_n \leq u_{\text{пок}} - u_n,$$

$$u_{\text{пок}} \geq 2u_n \quad (5.4)$$

Отсюда делаем вывод, что линейная скорость движения нефти в электродегидраторе как минимум в два раза должна быть меньше рассчитанной скорости коалесценции капель воды. Осаждение гарантировано при

$$u_{\text{пок}} \geq 4u_n. \quad (5.5)$$

Скорость коалесценции капель в неподвижной среде при ламинарном характере движения жидкости ($Re \in [0, 4 \div 2; 10^{-4}]$) рассчитывается по формуле Стокса:

$$u_{\text{пок}} = \frac{d^2 g (\rho_v - \rho_n)}{18 \nu_n \rho_n}, \quad (5.6)$$

где d – диаметр наименьших глобул воды, м; ρ_v и ρ_n – соответственно плотности воды и нефти при температуре отстоя, кг/м³; ν_n – кинематическая вязкость нефти при температуре отстоя, м²/с.

При использовании формулы Стокса проверяют значение числа Рейнольдса по формуле:

$$Re = u_{\text{пок}} \frac{d}{\nu_n}. \quad (5.7)$$

Условие $Re \in [0,4 \div 2; 10^{-4}]$ должно выполняться. При $Re > 500$ осаждаются относительно крупные капли $d > 0,1$ мм. В таком случае скорость осаждения будет равна:

$$u_{\text{пок}} = \sqrt{3,03dg \frac{(\rho_v - \rho_n)}{\rho_n}}. \quad (5.8)$$

Зная скорость осаждения воды $u_{\text{пок}}$, мы можем определить $u_{\text{пок}}$ по уравнению (5.5) и найти необходимое поперечное сечение электродегидратора:

$$S = \frac{G}{u_n}, \quad (5.9)$$

где G – производительность установки, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Задача 5. Определить максимальную производительность электродегидратора и определить необходимое количество установок, используя температуру t , рассчитанную в задаче 2. Вязкости и плотности нефтей представлены в таблице 3, плотности воды при разных температурах – в Приложении 2.

Для пересчета плотности нефти на нужную температуру рекомендуется использовать эмпирическое уравнение Ахметова.

$$\rho_4^\tau = \rho_4^{20} \cdot \tau \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{\tau} + \alpha_2 \cdot \tau + \alpha_3 \cdot \rho_4^{20} + \alpha_4 \cdot (\rho_4^{20})^2 \right), \quad (5.10)$$

где $\tau = T/293,16$; T – температура, К; $\alpha_0 = -3,424$; $\alpha_1 = 0,127$; $\alpha_2 = -0,0681$; $\alpha_3 = 7,8042$; $\alpha_4 = -4,9641$.

Пример решения.

Исходные данные:

$G, \text{ м}^3/\text{ч}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho'_n, \text{ кг/м}^3$	$\rho'_в, \text{ кг/м}^3$	$v'_n, \text{ м}^2/\text{с}$	$d, \text{ м}$
900	100	800	958	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$

Примем в качестве электродегидратора горизонтальный цилиндрический отстойник типа 2ЭГ160, размеры которого приведены в таблице 7 ($L=18 \text{ м}$; $D=3,4 \text{ м}$).

Максимальная поверхность осаждения в таком аппарате равна:

$$S = L \cdot D = 18 \cdot 3,4 = 61,2 \text{ м}^2. \quad (5.11)$$

Если $Re < 0,4$, тогда скорость осаждения в неподвижной фазе по формуле Стокса (5.6):

$$u_{\text{пок}} = \frac{d^2 g (\rho'_в - \rho'_n)}{18 v_n \rho'_н} = \frac{(2,2 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,81 \cdot (958 - 800)}{18 \cdot 2,9 \cdot 10^{-6} \cdot 800} = 0,0018.$$

Определим число Рейнольдса по формуле (5.7):

$$Re = u_{\text{пок}} \frac{d}{v_n} = 0,0018 \cdot \frac{2,2 \cdot 10^{-4}}{2,9 \cdot 10^{-6}} = 0,136$$

$$0,136 < 0,4,$$

т. е. условие $Re < 0,4$ выполняется, и использование формулы Стокса для определения скорости осаждения в неподвижной фазе справедливо.

Найдём высоту слоя эмульсии:

$$h_3 = 0,5 \cdot D - h_1, \quad (5.12)$$

где h_1 – расстояние от дна электродегидратора до поверхности раздела фаз, которое принимаем равным 1 м:

$$h_3 = 0,5 \cdot D - h_1 = 0,5 \cdot 3,4 - 1 = 0,7 \text{ м}.$$

Если время отстоя $\tau = 40 \text{ мин} = 0,67 \text{ ч}$, тогда по формуле (5.2):

Таблица 7

Характеристики электродегидраторов

Тип электродегидратора	$V, \text{ м}^3$	$D, \text{ м}$	$L(H), \text{ м}$	$P_{\text{расч}}, \text{ МПа}$	Макс. $t_{\text{раб}}, \text{ }^\circ\text{C}$	Число электродов	$G, \text{ м}^3/\text{ч}$	$G/V, \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{ч})$	S/V
Вертикальный	30	3	5	0,4/0,6	90	2	15	0,5	0,23
							30	1,0	
Шаровой	600	10,5	–	0,6/0,7	100	2	300	0,5	0,13
Горизонтальные:									
2ЭГ160	160	3,4	18,6	1,8	160	2	240	1,5	0,4
							480	3,0	
1ЭГ160	160	3,4	18,6	1,0	110	2	240	1,5	0,4
							480	3,0	
2ЭГ160/3	160	3,4	18,6	1,8	160	3	240	1,5	0,4
							480	3,0	
2ЭГ160-2	160	3,4	18,6	1,8	160	3	240	1,5	0,4
							480	3,0	
2ЭГ-160-2Р	200	3,4	23,4	1,8	160	3	240	1,5	0,4
							480	3,0	
ЭГ-200	200	3,4	16,4	1,2	80	2	240	1,5	0,4
							480	3,0	

$$u_{\text{н}} = \frac{h_3}{\tau_{\text{ос}}} = \frac{0,7}{0,67} = 1,04 \text{ (м/ч)} = 0,0003 \text{ (м/с)}.$$

Фактическая скорость осаждения глобул воды в потоке поднимающейся нефти по формуле (5.3) составит:

$$u_{\text{факт}} = u_{\text{пок}} - u_{\text{н}} = 0,0018 - 0,0003 = 0,0015 \text{ м/с.}$$

Производительность аппарата по (5.9) равна:

$$G = S \cdot u_{\text{н}} = 61,2 \cdot 0,0015 = 0,092 \text{ м}^3/\text{с} = 330 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

По условию задачи требуется производительность установки 900 м³/ч, поэтому число параллельно работающих электродегидраторов составит:

$$n = \frac{G_{\Sigma}}{G_1} = \frac{900}{330} = 2,72, \quad (5.13)$$

где G_{Σ} и G_1 – соответственно требуемая производительность и производительность одной установки, м³/ч.

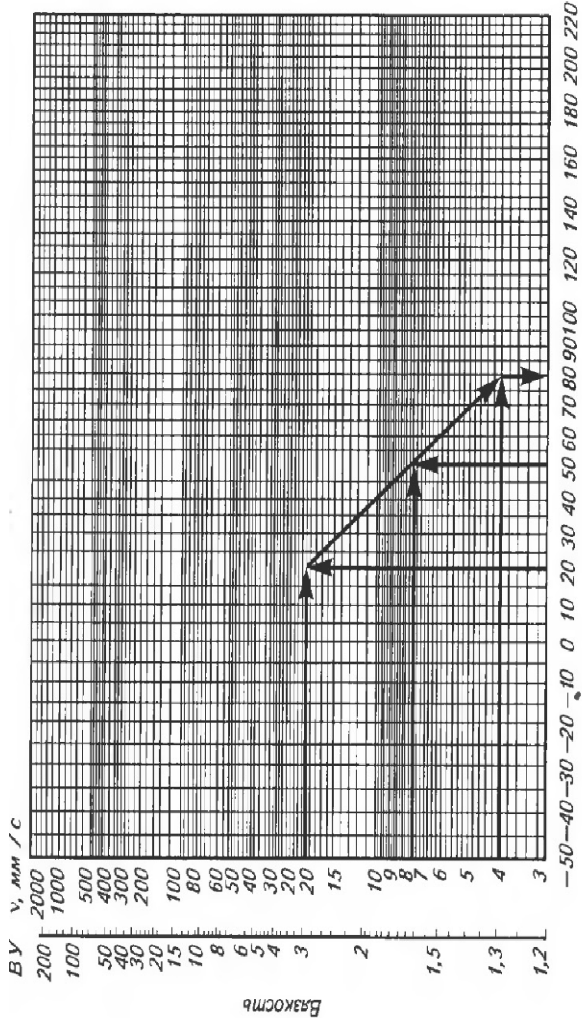
Принимаем $n=3$, т. е. для производительности в 900 м³/ч понадобится три электродегидратора типа 2ЭГ160.

Библиографический список

1. Айнштейн В. Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учебник для вузов / Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. М. : Логос : Высш. шк., 2003. 912 с.
2. Алексеев А.И. Общая химическая технология : рабочая прогр., задания на контрол. работы ,учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента / А.И. Алексеев, О.В. Кулинич, А.Ф. Туболкин. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2002. 29 с.
3. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Уфа: Гилем, 2002. 520с.
4. Гурвич И. Л. Технология нефти Ч. 1. М., Химия, 1972. 620 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1973. 752 с.
6. Кондауров Б. П. Общая химическая технология : учеб. пособие для вузов / Б. П. Кондауров, В. И. Александров, А. В. Артемов. М. : Академия, 2005. 332 с.
7. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учеб. для вузов / под ред. В. И. Ксензенко. М. : КолосС, 2003. 328 с.
8. Кузнецова И.М. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС. СПб : Лань, 2014. 384 с.

9. Кутепов А. М. Общая химическая технология : учеб. для вузов / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. М.: Высш. шк., 1990. 519 с.
10. Лаптев М. Я. Примеры материальных и тепловых расчетов по общей химической технологии: учеб. Пособие. Л. : СЗПИ, 1975. 64 с.
11. Магарил Р. З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учеб. Пособие для вузов. Л.:Химия, 1985. 95 с.
12. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 2001. 568 с.
13. Мухленов И.П. Общая химическая технология : учеб. для вузов : в 2 ч. / И. П. Мухленов, А. Я. Авербух, Е. С. Тумаркина. М. : Высш. шк., 1984. 384 с.
14. Нефти СССР. Справочник, М. :Химия, 1974. Т. 1-4.
15. Смирнов Н.Н. Химические реакторы в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов / Н. Н. Смирнов, А.И. Волжинский. Л. : Химия, 1986. 221 с.
16. Танатаров М. А., Технологические расчеты установок переработки нефти: Учеб. Пособие для вузов/ М. А.Танатаров, М. Н. Ахметшина, Р. А. М.: Химия, 1987. 420с.
17. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://www.rsl.ru/>
18. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
19. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
20. Свободная энциклопедия Википедия: <https://ru.wikipedia.org>
21. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
22. Научная электронная библиотека «elibrary»: <https://elibrary.ru>
23. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com/books>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



Номограмма для определения вязкости нефтепродуктов при различных температурах.
Температура, C

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Плотность воды при разной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	999,8
10	999,7
20	998,2
30	995,7
40	992,2
50	988
60	983,2
70	977,8
80	971,8
90	965,3
100	958,4
110	950,7
120	942,9
130	934,6
140	925,8
150	916,8
160	907,3
170	897,3
180	886,9
190	876
200	864,7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Задания к самостоятельной работе.....	4
Самостоятельное изучение дополнительных материалов.....	4
Содержание дисциплины.....	5
Расчетно-графическое задание.....	9
Библиографический список.....	31
Приложение 1. Номограмма для определения вязкости нефтепродуктов при различных температурах.....	33
Приложение 2. Плотность воды при разной температуре....	34

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 18.03.01*

Сост.: *О.В. Зырянова, Т.А. Александрова, С.М. Косолапова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
химических технологий и переработки энергоносителей

Ответственный за выпуск *О.В. Зырянова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 26.06.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,0. Усл.кр.-отт. 2,0. Уч.-изд.л. 1,7. Тираж 75 экз. Заказ 598. С 211.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2