

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии техногенной безопасности

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ДВУХКАМЕРНОЙ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ ДЛЯ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАЗУТА**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

Института Химии

Амикишиева Александра Александровича

Научный руководитель  
Профессор, д.т.н.

Ю.Я. Печенегов

Заведующий кафедры  
Профессор, д.х.н.

Р. И. Кузьмина

**Введение** Бакалаврская работа Амикишиева А.А. посвящена модернизации двухкамерной трубчатой печи для термической обработки мазута.

Актуальной проблемой при эксплуатации печного оборудования является негативное воздействие эксплуатационных факторов в течение длительного времени, а именно отложения на теплообменных поверхностях загрязняющих веществ, накипи, продуктов протекания химических реакций, что может вызывать снижение рабочих параметров аппарата и постепенное или внезапное ухудшение технического состояния вплоть до отказа. Также, наличие отложений приводит к росту требуемой поверхности из-за увеличения термического сопротивления. Не всегда представляется возможным оценить влияние загрязнений по причине наличия множества факторов и механизмов, влияющих на процесс.

Одним из решений задачи повышения надежности, безотказности и увеличения ресурса ТА является применение различных способов интенсификации теплообмена, которые оказывают положительное влияние на снижение отложений на теплообменной поверхности. Помимо этого, такое воздействие приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи и, соответственно, к снижению необходимой площади поверхности теплообменника.

На данный момент известно достаточное количество способов интенсификации теплообмена позволяющих увеличить коэффициент теплоотдачи от нескольких процентов до нескольких раз и даже десятков раз. При этом, как правило, происходит увеличение гидравлического сопротивления в теплообменном аппарате в зависимости от выбранного способа.

Одним из способов интенсификации, исследуемом в работе, является закрутка потока. Ряд отечественных авторов, таких как Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Мигай В.К., Щукин В.К., Дзюбенко Б.В., Кузма-Китча Ю.А., Попов И.А., Митрофанова О.В. Печенегов Ю.Я. и другие посветили свои исследования закрученному потоку и, в частности, применению витых лент для его

воспроизводства. Несмотря на давнюю известность способа закрутки потока витыми лентами, интерес к этому вопросу сохраняется, что подтверждается одними из последних работ Митрофановой О.В., Попова И.А., Лаптева А.Г., Тарасевича С. Э., Колядина Е.А., Eiamsa-ard S., Sami D. Salman.

Целью работы является предложение технологических мероприятий для увеличения временного периода между очистками трубных змеевиков печей висбрекинга мазута.

Задачи исследования: произвести расчет трубчатой печи висбрекинга мазута с использованием пассивного средства интенсификации теплообмена – закрученных металлических лент вставленных в трубы радиантной секции печи, с целью получения более низкой температуры стенки радиантных труб, и соответственно снижения количества отложений на стенках, что в свою очередь позволит увеличить период работы печи между очистками.

Выпускная квалификационная работа Амикишиева Александра Александровича «Модернизация двухкамерной трубчатой печи для термической обработки мазута» состоит из 51 страницы и содержит следующие разделы:

Раздел 1 – Технологическая схема производственного участка

Раздел 2 – Литературный обзор и патентный анализ

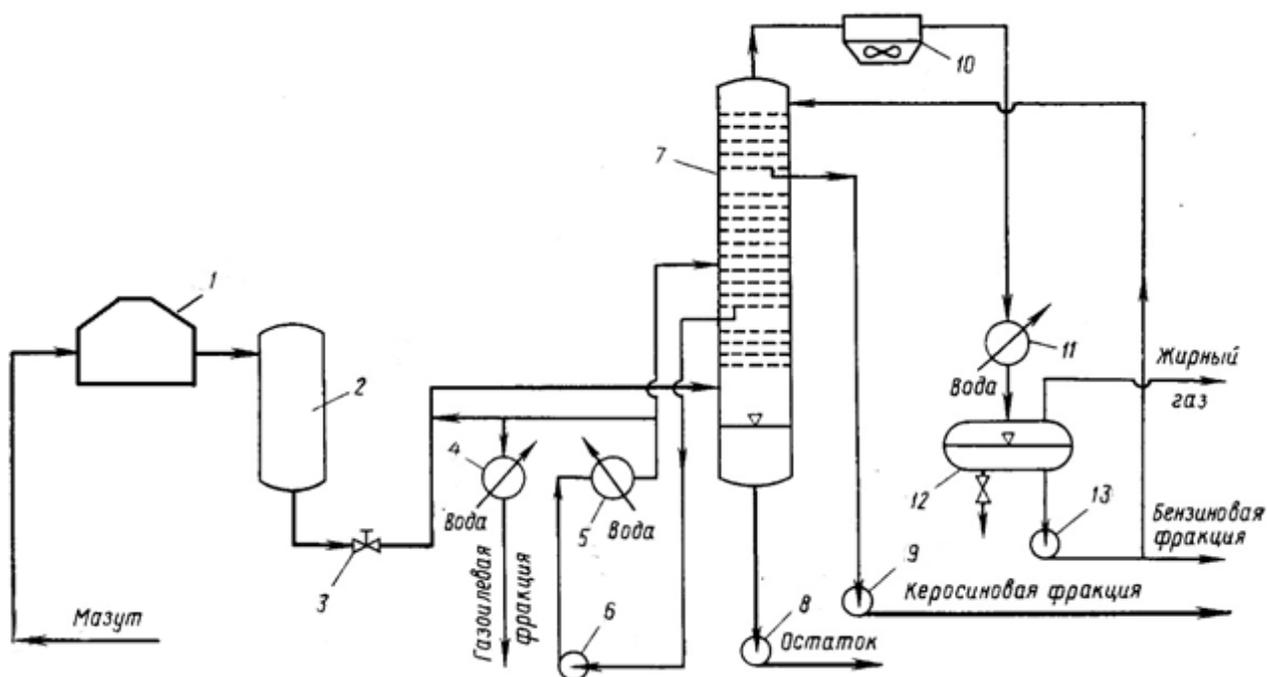
Раздел 3 – Технологические расчеты

Раздел 4 – КИП и автоматизация

Раздел 5 – Охрана труда и вопросы экологии

Раздел 6 – Экономическое обоснование модернизации

**Основное содержание работы.** В первом разделе выпускной квалификационной работы излагается информация о технологической схеме производственного узла, в который включена рассматриваемая печь, данные о конструкции и работе трубчатой печи, а так же приводятся основные сложности, связанные с эксплуатацией трубчатых печей в производстве, на устранение которых и направлены предлагаемые мероприятия по модернизации.



1 – трубчатая печь; 2 – реактор; 3 – редукционный клапан; 4 – холодильник; 5 – теплообменник; 6, 8, 9, 13 – насосы; 7 – фракционирующая колонна; 10 – аппарат воздушного охлаждения; 11 – водяной холодильник; 12 – сепаратор.

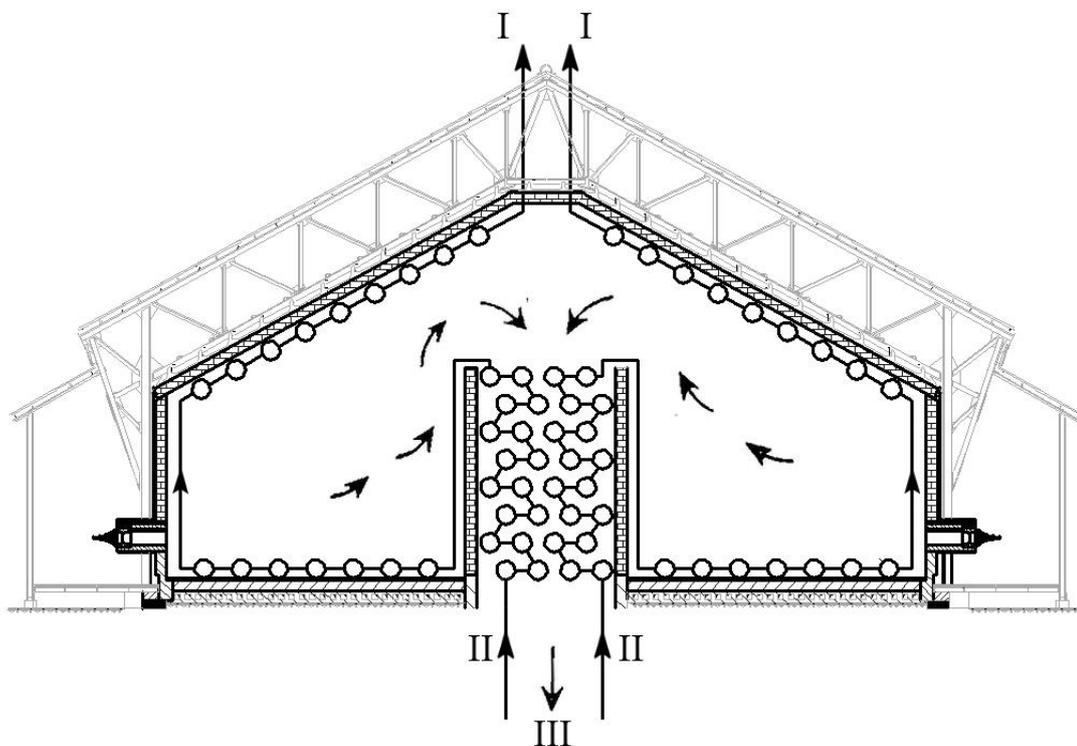
Рисунок 1 – Технологическая схема висбрекинг-установки с реакционной камерой

На рисунке 1 изображена технологическая схема процесса висбрекинга мазута. Горячий мазут, поступающий с нефтеперегонной установки, подается в змеевик печи (1). По выходе из печи сырье подвергается висбрекингу в реакционной камере (2) (реакторе), работающей при давлении около 1,7 МПа. Полученная смесь продуктов, пройдя редукционный клапан (3), направляется далее в фракционирующую колонну (7). До входа в колонну смесь охлаждается за счет подачи в линию холодного газойля, нагнетаемого насосом (6), через теплообменник (5). Остальная часть охлажденного газойля (рециркулят) возвращается этим же насосом в среднюю зону колонны (7). Балансовое количество газойля отводится с установки через холодильник (4).

Для конденсации бензиновых паров и охлаждения газов, выходящих из колонны (7) сверху, служит аппарат воздушного охлаждения (10). После него смесь проходит водяной холодильник (11). В горизонтальном сепараторе (132) (он же сборник орошения) жирные газы отделяются от нестабильного бензина. Часть бензина подается насосом (13) на верхнюю тарелку колонны в качестве орошения; остальное количество отводится с установки.

Легкая керосиновая фракция отбирается из колонны с промежуточной тарелки и насосом (11) выводится с установки. На некоторых установках эта фракция предварительно продувается водяным паром в выносной отпарной колонне.

Описанная установка является частью комбинированной установки, и с низа колонны (7) остаток — утяжеленный висбрекинг-мазут — направляется насосом (8) в вакуумную ступень [1].



I – выходящий продукт; II – входящий продукт; III – газы в дымовую трубу

Рисунок 2 – Двухкамерная трубчатая печь шатрового типа

На рисунке 2 изображена схема шатровой двухкамерной трубчатой печи висбрекинга мазута. Мазут поступает в печь и двумя потоками проходит камеру конвекции, где нагревается за счет тепла отводимых продуктов сгорания топливного газа. Далее мазут параллельными потоками поступает в камеры радиации, где нагревается за счет лучистой теплопередачи от нагретой поверхности свода, стен и пода печи. Далее нагретый до температуры процесса мазут выводится из печи и направляется в выносную реакционную камеру [2].

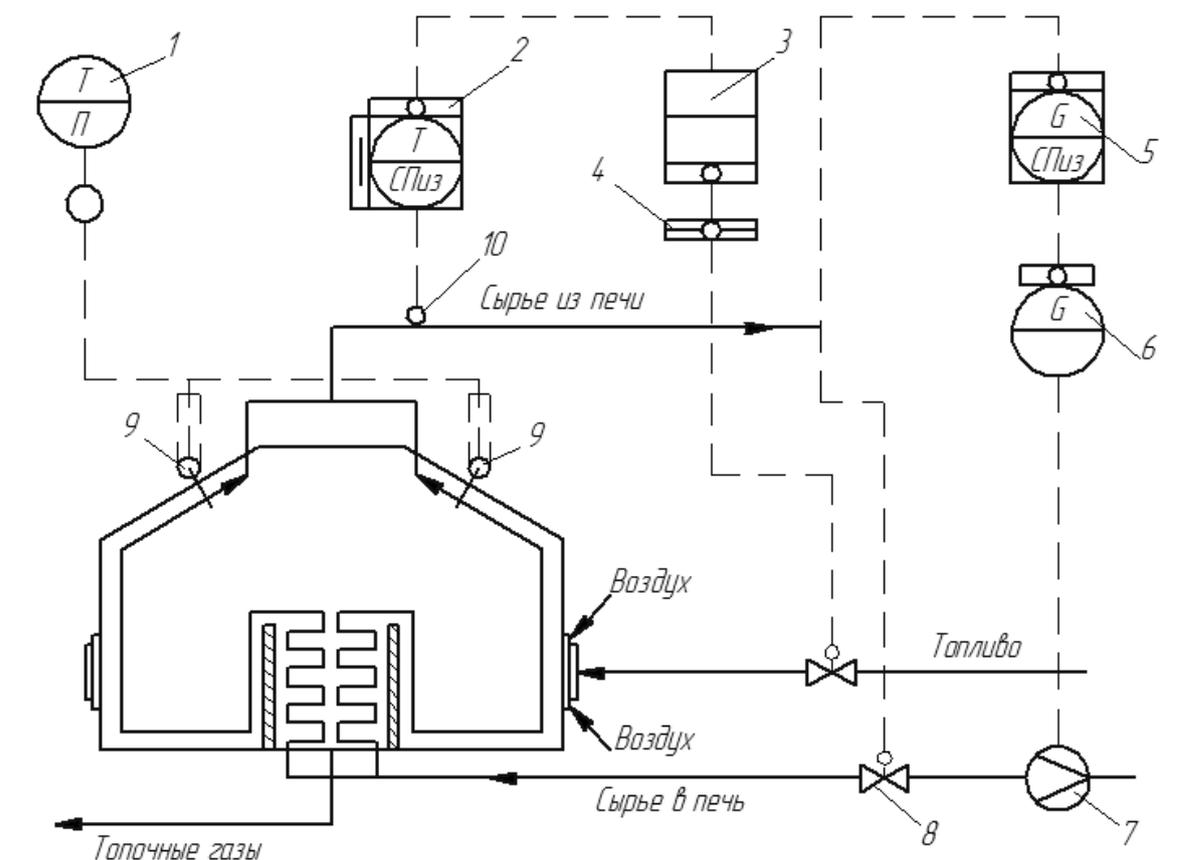
К основным недостаткам трубчатых печей относятся: недостаточная надежность эксплуатации печи вследствие забивания продуктами сгорания топлива поверхностей змеевиков, что ухудшает теплообмен поверхности нагрева, увеличивает расход топлива и снижает срок службы змеевика и надежность печи в целом, а также недостаточно полное использование тепловой энергии дымовых газов для нагрева продукта в радиантной и конвективной камерах [3].

Во втором разделе был проведен литературный обзор на тему интенсификации теплообмена в трубчатом теплообменном оборудовании. Также произведен соответствующий патентный анализ и выбор оптимального решения поставленной в работе задачи. В литературных источниках были найдены следующие методы интенсификации теплообмена: конструирование шероховатых поверхностей и поверхностей сложной формы, способствующих турбулизации потока в пристенном слое (накатки, выемки, лунки); закрутка потока шнековыми устройствами, спиральными ребрами, завихрителями, установленными на входе в канал; использование турбулизирующих вставок в каналах; увеличение площади поверхности теплообмена посредством оребрения; воздействие на поток теплоносителя электрическим, магнитным и ультразвуковым полями; турбулизация пристенного слоя организацией пульсаций скорости набегающего потока и его закрутки; механическое воздействие на поверхность теплообмена посредством ее вращения и вибрации; применение зернистой насадки как в неподвижном, так и в псевдоподвижном

состоянии; добавление в теплоноситель твердых частиц или газовых пузырьков. Для патентного анализа отобрано 5 изобретений, имеющих непосредственное отношение к интенсификации теплообмена в трубчатом теплообменном оборудовании: Патент RU2231007 – Теплообменная труба [4], Патент SU909564 – Способ интенсификации теплообмена в трубчатом теплообменнике [5], Патент RU2189554 – Труба [6], Патент JP2000121284 – Heat transfer tube and heat conveying system [7] и Патент RU2432542 – Устройство для интенсификации теплообмена в каналах различного поперечного сечения [8]. На основании данных полученных при проведении литературного обзора и патентного анализа для модернизации трубчатой печи выбран способ интенсификации теплообмена, сочетающий в себе относительную простоту применения и высокую эффективность, а именно введение в трубы змеевика радиантной секции средства пассивной турбулизации потока теплоносителя в виде закрученной плоской металлической ленты [9], [10], [7].

В третьем разделе проводятся технологические расчеты трубчатой печи для висбрекинга мазута. Составляется тепловой баланс печи и ведется расчет процесса горения топлива. Проводится расчет теплопередачи в радиантной и конвекционной камере, определяются основные размеры печи, количество труб радиантного и конвективного змеевика, а также гидравлические и аэродинамические расчеты. Производительность печи по мазуту ( $G_c$ ) – 45000 кг/ч; Температура сырья на входе ( $T_{вх}$ ) – 290 °С; Температура сырья на выходе ( $T_{вых}$ ) – 460 °С; Давление сырья на выходе из печи ( $P_{вых}$ ) – 1,7 МПа; Топливо – углеводородный газ. Высота радиантной камеры равна  $h_p = 3,3$  м. Длина радиантной камеры равна  $l_p = 10$  м. Высота стены радиантной камеры равна  $h_{ст.р} = 1,5$  м. Высота стены камеры конвекции равна  $h_{ст.к} = 1,8$  м. Ширина горизонтального участка свода равна  $l_{ном} = 0,5$  м. Ширина конвекционной камеры равна  $l_k = 1,3$  м. Печь включает две однопоточные радиантные камеры с 16 трубами в каждой и одну двухпоточную конвекционную камеру с 32

трубами. Для интенсификации теплообмена в трубы радиантных змеевиков вставлены средства пассивной турбулизации потока нагреваемого мазута – скрученные металлические ленты с шагом закрутки 1,8 м. Согласно расчетам это позволит снизить температуру стенки радиантного змеевика на 30 °С, что в свою очередь снизит скорость закоксовывания труб и увеличит временной интервал между очистками радиантных змеевиков.



1 – прибор для измерения температуры; 2, 5 – приборы для измерения температуры и расхода с ПИ-регуляторами; 3 – блок предварения БП-28Б; 4 – разделительная мембрана; 6 – датчик измерителя расхода; 7 – диафрагма; 8 – регулирующий клапан; 9 – термопары для измерения температуры сгорания над перевалами; 10 – термопара для измерения температуры нагреваемого сырья;  $T$  – температура;  $G$  – расход;  $\Pi$  – показывающий прибор; ПИ – пропорционально интегральный регулятор; СПиз – самописец показывающий с изодромным регулятором.

Рисунок 3 – Схема автоматизации

Схема автоматизации работы печи изображена на рисунке 3 в соответствии с данными из [11]. Основная задача системы автоматизации – обеспечивать стабильный поток нагреваемого мазута в печи с постоянным расходом и температурой. Изменение температуры сырья на выходе из печи вызывает соответствующее изменение термоэлектродвижущей силы термопары (10). Эта ЭДС преобразуется в показывающем и регистрирующем устройствах в сигнал для регулирующего устройства (8) (текущее значение регулируемого параметра). Для изменения заданного значения регулируемого параметра вручную на потенциометре перемещают задатчик, который также передает сигнал-задание регулирующему устройству (8). Также расход сырья регулируется с помощью диафрагмы (7) в зависимости от показаний измерителя расхода (5) с датчиком расхода (6). Регистрация и индикация данных о температуре на перевалах печи ведется с помощью прибора для измерения температуры (1) с датчиками в виде термопар (9).

В рамках экономического обоснования мероприятий по модернизации рассчитано, что при увеличении интервала между очистками печи от кокса в 8 раз, чистая прибыль от мероприятий по модернизации составит 14 758 628 руб/год. Период окупаемости будет равен 0,013 года.

## **Выводы:**

1. В работе были предложены технологические мероприятия для увеличения временного периода между очистками трубных змеевиков печей висбрекинга мазута.
2. Произведен расчет трубчатой печи висбрекинга мазута с использованием пассивного средства интенсификации теплообмена – закрученных металлических лент вставленных в трубы радиантной секции печи, с целью получения более низкой температуры стенки радиантных труб, и соответственно снижения количества отложений на стенках, что в свою очередь позволит увеличить период работы печи между очистками.
3. Рассчитан необходимый для снижения температуры стенки шаг закрутки ленты.
4. Предложена схема автоматического управления работой трубчатой печи, обеспечивающая стабильный по расходу и температуре поток нагреваемого мазута.
5. Изложены нормы охраны труда и экологические требования при ремонте и эксплуатации печного оборудования.
6. Приведено экономическое обоснование предлагаемых мероприятий по модернизации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Шарихин, В.В. Трубчатые печи нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебное пособие / В.В. Шарихин, Н.Р. Ентус, А.А. Коновалов, А.А. Скороход. – М. : Сенсоры. Модули. Системы, 2000. - 392 с.
- 2 Эрих, В.Н. Химия и технология нефти и газа / В.Н. Эрих, М.Г. Расина, М.Г. Рудина. - 5-е изд., перераб. – СПб. : Химия, 2002. - 424 с.
- 3 Кривандин, В.А. Конструкция и работа печей: Учебное пособие для вузов. Т. 2. / В.А. Кривандин – М. : МИСиС, 2002. - 736 с.
- 4 Пат. 2231007 Российская Федерация. Теплообменная труба / К. Л. Муныбин. - Заявка № 2002120042/06 от 22.07.2002 ; опубл. 20.06.2004, Бюл. № 17.
- 5 Пат. 909564 СССР. Способ интенсификации теплообмена в трубчатом теплообменнике / Н. В. Долгоруков. - Заявка № 2816800 от 07.09.1979 ; опубл. 28.02. 1982, Бюл. № 8.
- 6 Пат. 2189554 Российская Федерация. Труба / Р. Ш. Курамшин. - Заявка № 2001101247/06 от 12.01.2001 ; опубл. 20.09.2002, Бюл. № 26.
- 7 Пат. 2000121284 Япония. Heat transfer tube and heat conveying system / A. Kishimoto. - Заявка № 29038798 от 13.10.1998 ; опубл. 28.04.2000.
- 8 Пат. 2432542 Российская Федерация. Устройство для интенсификации теплообмена в каналах различного поперечного сечения / А. Б. Яковлев. - Заявка № 2009147927/06 от 22.12.2009 ; опубл. 27.10.2011, Бюл. № 30.
- 9 Печенегов, Ю. Я. Снижение температуры теплопередающей стенки путем интенсификации теплообмена при нагревании вязких жидкостей / Ю. Я. Печенегов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2017. - №11. - 154 с.
- 10 Печенегов, Ю. Я. Теплогидравлические характеристики закрученных потоков в трубах теплообменных аппаратов / Ю. Я. Печенегов // Тезисы докладов Юбилейной конференции Национального комитета РАН по тепло- и массообмену «Фундаментальные и прикладные проблемы

тепломассообмена» и XXI Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках» (22—26 мая 2017 г., Санкт-Петербург): в 2 т. М. : Издательский дом МЭИ, 2017. Т. 2. - 308 с.

11    Ентус, Н.Р. Трубчатые печи / Н.Р. Ентус. – М. : Химия, 1977. - 224 с.