

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ СЛОЯ ЖИДКОЙ СЕРЫ В КАНАЛЕ ТЕПЛООБМЕННИКА

Modeling of the liquid sulfur layer flux in the heat exchanger's channel

The numerical modeling problem dealing with the separated regime of the two viscous liquid fluxes having deformable interface has been regarded. It's supposed that one of the liquids has some non-monotonous dependence on viscosity. Some main laws of the thermoviscous liquid layer flux were studied in the heat exchanger's channels. The range of temperature changes covered an anomalous zone of the non-monotonous temperature dependence of viscous of the liquid under research. As a result of the numerical experiments, the causes of the located interface deformation of the two liquids defined as «threshold» were also revealed. Some influence of the thickness of the thermoviscous layer and heat exchange intensity upon the size and shape of the «threshold» were discovered. These results are necessary in oil refinery industry dealing with polymerized media, such as liquid sulfur. The practical conclusions are of special importance when thermal regimes are being defined in a heat exchanger under project.

В.Н. Киреев,
С.Ф. Хизбуллина,
С.Ф. Урманчиев
Институт механики
Уфимского научного центра РАН

Течение жидкой серы в теплообменных устройствах в значительной мере определяется ярко выраженной зависимостью вязкости от температуры. Особенности динамического поведения жидкой серы не могут не сказываться на характере протекания технологических процессов в установках и аппаратах химических и нефтеперерабатывающих производств, в которых используется жидкая сера и другие жидкости, обладающие температурной аномалией вязкости.

Например, при переработке нефти для утилизации ядовитых сернистых соединений используется Клаус-процесс, в котором происходит разложение сернистых соединений с образованием паров серы. Конденсация этих паров в теплообменнике приводит к расслоенному режиму течения парогазокапельной смеси и жидкой серы.

Практическая целесообразность исследования течения жидкой серы в канале теплообменника связана с явлением спонтанного перекрытия сечения канала жидкой фазой, приводящим к нарушению или даже потере работоспособности теплообменника.

В работе [1] описана экспериментальная установка, с помощью которой авторы исследовали физическую картину процесса течения слоя жидкой серы в горизонтальной трубе и выявили ряд его особенностей. Схема экспериментальной установки схематически показана на рисунке 1. Длина теплообменника составляла 920 мм, а внутренний диаметр трубы — 10 мм.

Парогазовая смесь, состоящая из паров серы и некоторых газов, поступала в теплообменник и затем конденсировалась на стенках тру-

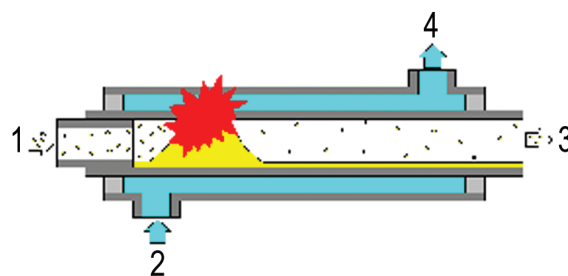


Рисунок 1. Схема экспериментального теплообменника: 1 — вход парогазовой смеси, 2 — вход охлаждающего агента, 3 — выход парогазовой смеси, 4 — выход охлаждающего агента

бы, образуя на нижней образующей трубы так называемый конденсатный ручей. В качестве охлаждающего агента использовался глицерин при температуре 130°C.

В опытах наблюдалась большая неравномерность распределения толщины конденсата по длине трубки теплообменника. В начале канала на расстоянии 100—110 мм от входа наблюдалась холмообразная деформация слоя жидкости — «порог» высотой 5—10 мм. Это явление носило устойчивый характер и сохранялось на протяжении всего эксперимента или при определённых условиях возникал непрерывный рост «порога», вплоть до образования жидкой перемычки, запирающей сечение канала.

В зависимости от условий эксперимента форма и размеры «порога» сильно менялись. Когда все сечение трубки теплообменника заполнялось жидкой серой, давление резко увеличивалось, а поступающие в теплообменник пары серы пробивали себе путь над «порогом».

При этом на поверхности жидкой серы могли появляться волны.

Авторы работы [1] делают вывод, что «...наблюдавшаяся картина образования «порога» может быть объяснена резким возрастанием вязкости серы в слое конденсата на начальном участке конденсатора».

С целью установления влияния температурной аномалии вязкости жидкой серы на возможность образования «порога», рассмотрим математическую модель ламинарного течения двух вязких несжимаемых несмешивающихся жидкостей в плоском горизонтальном канале длины L и ширины h под действием перепада давления Δp .

Геометрия плоского горизонтального канала, первоначальное взаимное расположение жидкостей и выбранная прямоугольная декартова система координат показаны на рисунке 2. Нижняя часть канала заполнена некоторой модельной жидкостью с немонотонной зависимостью вязкости от температуры, (обозначим ее индексом «1»), а сверху находится жидкость с другими физическими свойствами, отличными от первой жидкости (обозначим ее индексом «2»). Граница раздела между жидкостями в начальный момент времени представляет собой прямую линию (показана на рисунке 2 сплошной синей линией). Обе жидкости первоначально покоятся. В начальный момент времени через левое сечение канала под действием перепада давления начинают одновременно поступать обе жидкости: первая жидкость проходит через сечение шириной h_1 , а вторая жидкость через сечение шириной $h - h_1$, соответственно.

Пусть обе жидкости втекают с постоянной температурой T_{in} . На стенках канала для температуры используем граничное условие первого рода следующим образом:

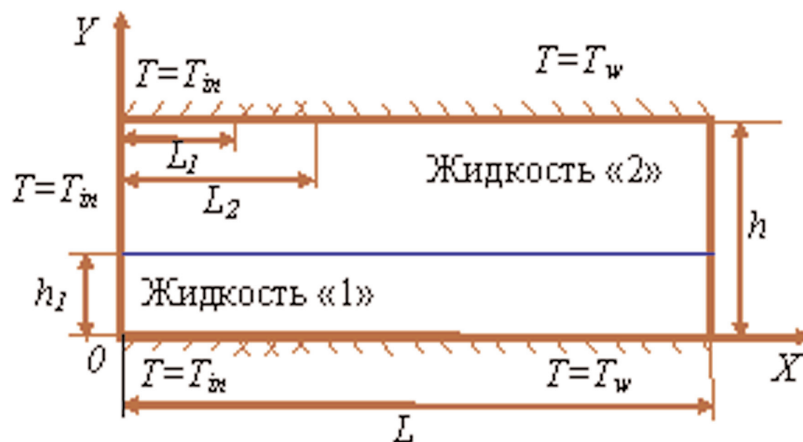


Рисунок 2. Геометрия плоского горизонтального канала

при $0 \leq x < L_1$

$$T|_{y=0} = T|_{y=h} = T_{in},$$

при $L_1 \leq x \leq L_2$

$$T|_{y=0} = T|_{y=h} = T_{in} + \frac{T_w - T_{in}}{L_2 - L_1} (x - L_1),$$

при $L_2 < x \leq L$

$$T|_{y=0} = T|_{y=h} = T_w,$$

В итоге, на стенках канала была установлена температура T_w , но вблизи входа температура стенок поддерживалась равной температуре втекающей жидкости T_{in} , а в промежуточной области ($L_1 \leq x \leq L_2$) температура стенок линейно изменялась в пределах от T_{in} до $T_w < T_{in}$. На рисунке 2 участки стенок с различными температурами обозначены различной штриховкой.

Будем считать, что изменением вязкости жидкости 2 в рассматриваемом температурном диапазоне можно пренебречь (т. е. $\nu_2 = \text{const}$), а аномальная зависимость вязкости от температуры у жидкости 1 имеет вид:

$$\nu_2(T) = \nu_{\min}(1 + A \exp(-B(T - T_*)^2)),$$

где $A = \frac{\nu_{\max}}{\nu_{\min}} - 1$ и $B > 0$ — параметры,

характеризующие аномальную зависимость вязкости от температуры, $T_* = \frac{T_w + T_{in}}{2}$.

После установления течения, граница раздела между жидкостями, как уже отмечалось, изменит свое положение. Предполагаемый вид границы раздела показан на рисунке 3 синей пунктирной линией.

Основной задачей настоящей работы являлось установление возможности существования устойчивой формы деформации границы раздела жидкостей. Кроме того, представляли интерес вопросы о влиянии толщины слоя аномально термовязкой жидкости и условий теплообмена на величину «порога» Δh (рисунок 3).

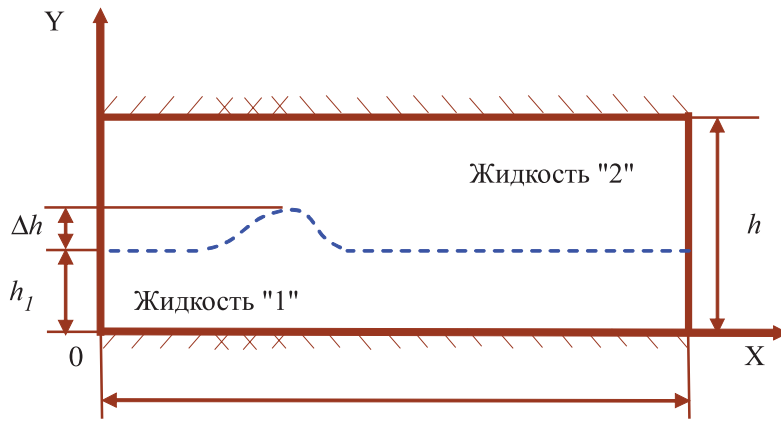


Рисунок 3. Гипотетическое установившееся положение границы раздела жидкостей

Для численного решения поставленных задач была использована система уравнений математической модели, построенная на основе обобщенного уравнения Навье-Стокса [2], [3]. Дискретизация уравнений математической модели, представленных в безразмерном виде, проводилась при помощи метода контрольного объема и алгоритма SIMPLE [4]. Для определения положения границы раздела между жидкостями применялся метод VOF [5].

Численные расчеты проводились для следующих значений геометрических параметров и перепада давления:

$$L = 1 \text{ м}, h = 0.01 \text{ м}, \Delta p = 2 \text{ Па}.$$

Параметры anomalно термовязкой жидкости 1:

$$\rho_1 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad v_{1, \min} = 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}},$$

$$v_{1, \max} = 21 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, \quad B = 0.01,$$

параметры жидкости 2:

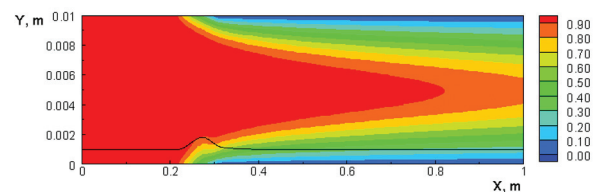
$$\rho_2 = \rho_1 \cdot v_2 = v_{1, \min}$$

Теплофизические свойства (теплоемкость и теплопроводность) обеих жидкостей считались одинаковыми.

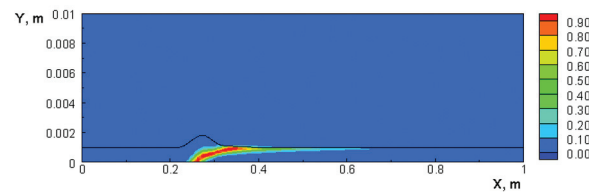
Для анализа явления порообразования были проведены расчеты при различных толщинах слоя anomalно термовязкой жидкости. На рисунке 4 представлены результаты расчетов при толщине слоя жидкости $h_1 = 0.001 \text{ м}$. Кроме изолиний соответствующей физической величины на каждом графике толстой сплош-

ной линией показано положение границы раздела жидкостей.

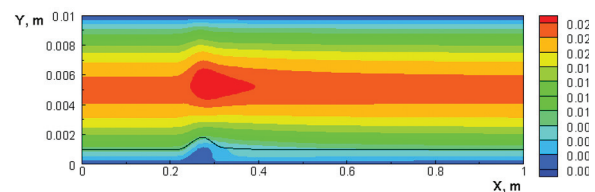
Видно, что поле температур (рисунок 4,а) имеет в целом такой же вид, как и при течении anomalно термовязкой жидкости, целиком заполняющей сечение канала [2]. Исключение составляет зона образования вязкого барьера, где, в результате локального изменения поля скоростей, изолинии температурного поля искажаются.



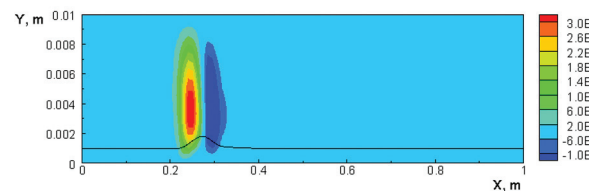
а) температура



б) вязкость



в) продольная скорость



г) поперечная скорость

Рисунок 4. Установившиеся распределения параметров при расслоенном течении anomalно термовязкой жидкости ($h_1 = 0.001 \text{ м}$)

Следует обратить внимание на геометрическую форму вязкого барьера. При данных условиях он имеет вид «факела», сносимого потоком (рисунок 4 б). Изолинии продольной скорости (рисунок 4 в) имеют значительные искажения в слое аномально термовязкой жидкости в зоне вязкого барьера, которые затухают по мере удаления от вязкого барьера. Особый интерес вызывают строго локализованные в пространстве изолинии поперечной скорости (рисунок 4 г). Конфигурация изолиний такова, что ее можно представить состоящей из двух частей: в левой части вектор поперечной составляющей скорости направлен вверх, а в правой — вниз.

Как и следовало ожидать, порядок абсолютных значений поперечной составляющей вектора скорости на два порядка меньше, чем у продольной составляющей. Однако именно ее наличие вызывает деформацию границы раздела течения жидкости с постоянной вязкостью и жидкости с температурной аномалией вязкости (рисунок 4 б). Деформация границы раздела представляет собой некоторое возвышение слоя аномальной жидкости над образовавшимся вязким барьером. Это возвышение и следует идентифицировать с «порогом», наблюдавшимся при проведении описанного выше лабораторного эксперимента.

Расчеты, проведенные для других значений толщины слоя аномально термовязкой жидкости, когда $h_1 = 0.002$ м и $h_1 = 0.003$ м, демонстрируют полную аналогию с результатами на рисунке 4. Поле температур при этом остается практически неизменным. В распределении зоны аномальной вязкости проявляются отличия. С одной стороны, первоначальная «ступенька» во всех случаях имеет одинаковую высоту ($\Delta h \approx 0.005$ м), а с другой — при увеличении толщины слоя увеличиваются и размеры «факела». Если при $\Delta h_1 = 0.001$ м он ограничен размерами рассматриваемой области и его длина составляет величину порядка 0.4 м, то при $h_1 = 0.002$ м, $h_1 = 0.003$ м и более, он выходит за пределы рассматриваемой части канала ($L = 1$ м). Наклон оси «факела» к горизонтали при этом уменьшается. Изолинии продольной

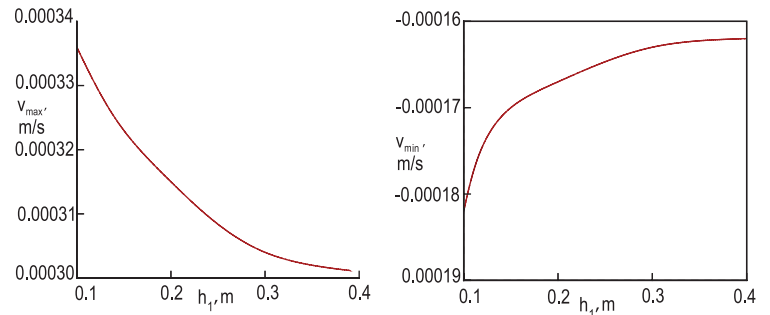
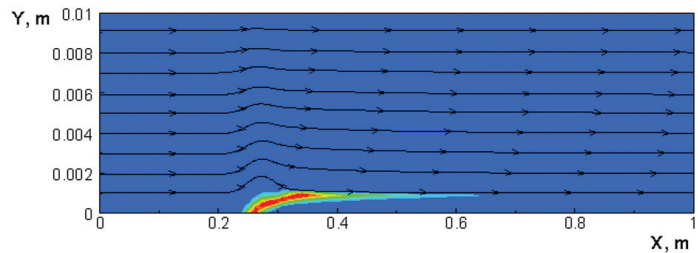


Рисунок 5. Максимальное и минимальное значения поперечной скорости в зависимости от толщины слоя

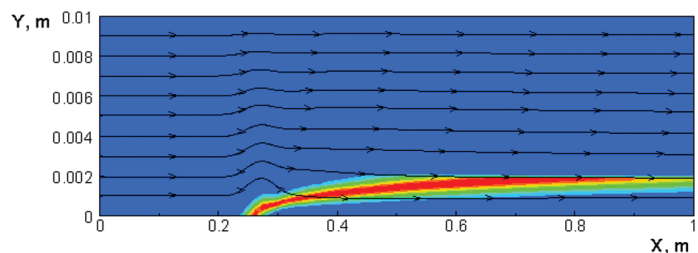
компоненты скорости существенно изменяются лишь в области вязкого барьера.

На каждом из рисунков, изображающих изолинии продольной скорости, обнаруживается небольшая область замедления потока, соответствующая расположению «порога». Далее по потоку в зоне факела происходит разрежение изолиний по мере увеличения толщины слоя аномальной жидкости.

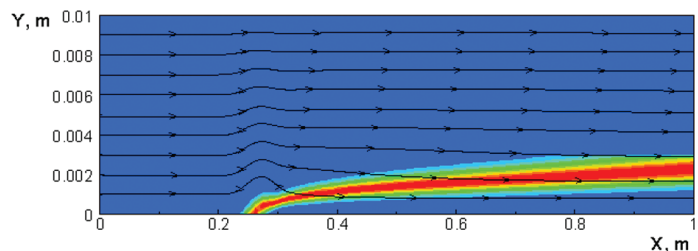
Абсолютные значения поперечной скорости уменьшаются с увеличением толщины слоя. На рисунке 5 изображены кривые, отражающие за-



а) $h_1 = 0.001$ м



б) $h_1 = 0.002$ м



в) $h_1 = 0.003$ м

Рисунок 6. Линии тока и вязкий барьер при различной толщине слое аномальной жидкости

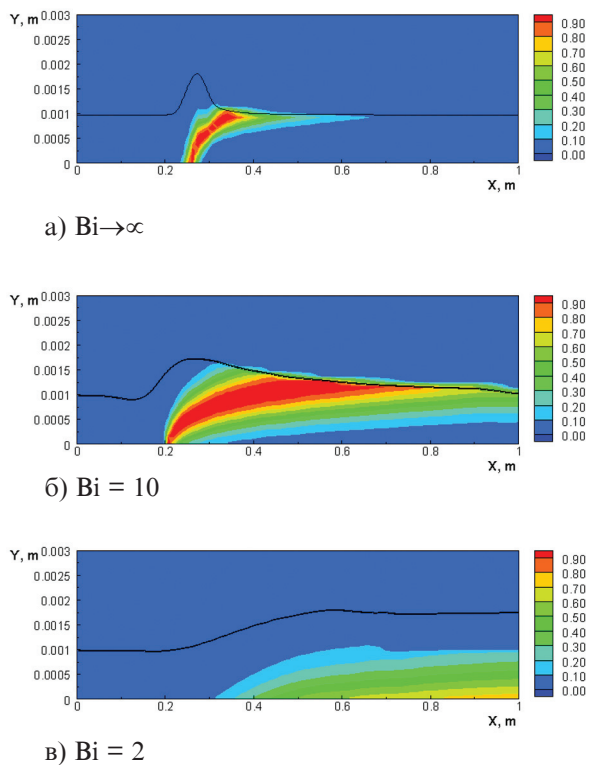


Рисунок 7. Установившееся положение границы раздела и изолинии вязкости при различных условиях теплообмена

кономерности уменьшения максимальных и минимальных значений поперечной скорости.

Наиболее интересным представляется тот факт, что величина «порога» оставалась практически неизменной с увеличением толщины слоя аномальной жидкости. Более того, на основании численных экспериментов следует отметить, что «порог» есть устойчивое образование в пространстве, не меняющее своих параметров с течением времени с момента установления течения в случае отсутствия процессов осаждения и уноса капель.

Для получения более полной информации о характере течения на рисунке 6 приведены картины линий тока для трех величин толщины слоя: $h_1 = 0.001$ м, $h_1 = 0.002$ м и $h_1 = 0.003$ м.

На рисунке 7 представлены положения границы раздела и изолинии вязкости в установившемся течении жидкой серы при различных условиях теплообмена. Видно, что при интенсивном теплообмене (рисунок 7 а) изолинии вязкости образуют факелообразный «вязкий барьер» с четко очерченной локализацией. Уменьшение теплообмена (рисунок 7 б, в) приводит в данной задаче к размыванию области «вязкого барьера» и в конечном итоге к его полному исчезновению при $Bi < 1$. Соответственно ведет себя

и граница слоя аномально термовязкой жидкости. Если при интенсивном теплообмене «порог» локализован в области обтекания «вязкого барьера», то при уменьшении числа Био «порог» становится более пологим. При $Bi = 1$ граница слоя аномально термовязкой жидкости представляет собой практически прямую линию.

Таким образом, исходя из полученных результатов выполненных численных экспериментов, следует заключить, что образование «порога», наблюдавшегося в лабораторных опытах по течению слоя жидкой серы в охлаждаемом канале, есть результат установившегося обтекания вязкого барьера. Вязкий барьер - это высоковязкая область в потоке жидкости с немоной зависимостью вязкости от температуры и, как показано в работе [2], связана с характером распределения температуры в канале теплообменника. Величина порога после окончания процесса его формирования остается неизменной в течение всего периода проведения вычислительного эксперимента.

Толщина слоя аномально термовязкой жидкости незначительно влияет на амплитуду деформации границы раздела жидкостей при заданном перепаде давления. В то же время интенсивность теплообмена через стенки канала существенным образом определяет величину и форму деформации границы и, соответственно, самого «порога» (рисунок 7).

Очевидным становится и ответ на вопрос о причине перекрытия сечения канала теплообменника пробкой жидкой серы. Образовавшийся на поверхности аномально термовязкой жидкости «порог» представляет собой область локальной деформации не только границы жидкостей, но и линий тока. Капли жидкой серы, содержащиеся в парогазокапельном потоке канала теплообменника Клаус-процесса, обладая значительной инерцией, не успевают изменить траекторию полёта, и осаждаются на фронтальной поверхности «порога», что и приводит к его дальнейшему росту уже за счет массообменных процессов. Процесс роста «порога» может продолжаться до полного перекрытия сечения канала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН «Динамика и акустика неоднородных жидкостей, газожидкостных систем и суспензий».

ЛИТЕРАТУРА

1. Мягков Л.В., Поляк В.Я., Головкин А.Б., Лекае В.М. Исследование тепло- и массообмена при конденсации серы из серогазовой смеси // Обзорн. инф. — М.: НИИТЭХИМ. — 1979. — 40 с.

2. Урманчеев С.Ф., Киреев В.Н. Установившееся течение жидкости с температурной аномалией вязкости // Доклады академии наук. — 2004. — Т.396, №2. — С. 204—207

3. Урманчеев С.Ф., Киреев В.Н. О влиянии температурной зависимости вязкости на течение жидкости // Нефтегазовое дело. — 2004. — №2. — С. 287—295

4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат. — 1984. — 152 с.

5. Hirt C.W., Nichols B.D. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries // J. of Comp. Physics. — 1981. — V. 39. — P. 201—225



Виктор Николаевич Киреев,
к.ф.-м.н., научный сотрудник Института механики УНЦ РАН, старший преподаватель кафедры механики сплошных

сред Башкирского государственного университета.

E-mail: kireev@anrb.ru



Хизбуллина Светлана Фаизовна,
аспирант Института механики УНЦ РАН
E-mail:

svetlana@imech.anrb.ru



Урманчеев Сайд Федорович,
д.ф.-м.н., доцент, исполнительный директор Института механики УНЦ РАН, зам. зав. кафедрой механики

сплошных сред Башкирского государственного университета.

E-mail: said@anrb.ru

www.ogbus.ru

Фаттахов К.М.

ВЫВОД ПРАВИЛ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОЙ Г-ОБРАЗНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В КУРСЕ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

http://www.ogbus.ru/authors/FattakhovKM/FattakhovKM_1.pdf

В статье предлагается более общий, чем традиционно применяемый в электротехнической литературе, подход к выводу правил формирования точной Г-образной схемы замещения асинхронной машины. Он позволяет значительно экономить время при получении указанной схемы. Это весьма важно в условиях, когда в последнее время в соответствии с Болонскими соглашениями приняты учебные планы, согласно которым приходится излагать, например, весь объем материала курса «Электротехника» за существенно сокращенное число часов.

Ращепкин А.К., Салагаева Е.В., Черкасов Н.М., Гладких И.Ф.

НОВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И МОНТАЖЕ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИЗ КОМБИНИРОВАННЫХ ТРУБ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ

http://www.ogbus.ru/authors/Raschepkin/Raschepkin_3.pdf

Ограничивающим фактором широкого применения коррозионноустойчивых полиэтиленовых труб на нефтепромыслах является их относительно низкая несущая способность (рабочие давления транспортируемой среды не превышают 1,0 МПа).

Для расширения областей применения полиэтиленовых труб при более высоких давлениях разработаны и успешно применяются на нефтегазопромыслах комбинированные трубы нового поколения с рабочим давлением до 4,0 МПа и равнопрочными с телом трубы соединениями. Усилие полиэтиленовой оболочки обеспечивается либо армированием ее сварным проволочным каркасом — металлопластовые трубы (МПТ) или формированием на ней стеклопластиковой оболочки — бипластмассовые трубы (БПТ).

Харисов Р.А., Хабирова А.Р., Мустафин Ф.М., Хабиров Р.А.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

http://www.ogbus.ru/authors/Harisov/Harisov_2.pdf

В статье проведен анализ основных причин возникновения дефектов изоляционных покрытий.

Резяпов Р.Н., Гимазетдинов А.Ф., Зидиханов М.Р., Басыров М.И., Никифоров Н.Н., Бадикова А.Д.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ОРОСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НАСАДОЧНОГО ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНОГО МОДУЛЯ

http://www.ogbus.ru/authors/Rezyapov/Rezyapov_1.pdf

Эффективность работы насадочного перекрестноточного модуля определяется необходимостью создания равномерно-го жидкостного орошения, следовательно, важно определить влияние величины критерия Рейнольдса на изменение коэффициента расхода. Зависимость коэффициентов расхода от числа Рейнольдса определялась экспериментально.

Харабрин С.В.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТРИГАЛОГЕНМЕТАНОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ И ВОДЕ ВОДОИСТОЧНИКА

(на примере поверхностного и инфильтрационных водозаборов г. Уфы)

http://www.ogbus.ru/authors/HarabrinSV/HarabrinSV_1.pdf

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 03.00.16 — «Экология» и 05.23.04 — «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов».

Цель работы — мониторинг состояния воды р. Уфы и питьевой воды в отношении ТГМ с целью выявления общих закономерностей и факторов, влияющих на образование ТГМ для разработки научно обоснованных мероприятий, направленных на снижение концентрации ТГМ в питьевой воде.

Кутуков С.Е.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

УДК 622.692.4.052 К-95
М.: СИП РИА, 2002.-324с.
табл. 28, ил. 58, список лит. — 143 назв.

http://www.ogbus.ru/authors/Kutukov/Kutukov_10.pdf (3,9 Мб)

Рассмотрены современные программные и технические средства, применяемые в управлении магистральными нефте- и продуктопроводами. Особое внимание уделено методологическим основам, перспективам и возможностям, как традиционно используемым интеллектуальным продуктам, так и вновь создаваемым, прошедшим лишь апробацию на объектах магистрального транспорта нефти АК «Транснефть». На основе результатов энергоаудита объектов магистральных трубопроводов показаны возможности снижения энергопотребления процесса перекачки за счёт повышения эффективности управления транспортом нефти.

www.ogbus.ru