

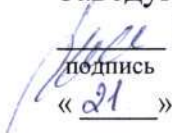
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Нефти и Газа

Базовая кафедра химии и технологии природных энергоносителей и
углеродных материалов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись В. П. Твердохлебов

« 21 » июня 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

18.03.01 «Химическая технология»

Разработка испытательного стенда для тестирования
антитурбулентных присадок

Научный руководитель


подпись, дата

доцент, кан. хим. наук

Ф.А. Бурюкин

Выпускник


подпись, дата 21.06.2016

Е.А. Горестов

Консультант по
экспериментальной части


подпись, дата 21.06.2016 г.

А.А. Киселева

Нормоконтролер


подпись, дата

доцент, кан. хим. наук

Ф.А. Бурюкин

Красноярск 2016


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Базовая кафедра химии и технологии природных энергоносителей и
углеродных материалов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. П. Твердохлебов

подпись

« 40 » мая 2016 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студенту: Горестову Евгению Александровичу

Группа: НБ 12-09 Направление (специальность): 18.03.01

Химическая технология

Тема выпускной квалификационной работы: Разработка испытательного
стенда для тестирования антитурбулентных присадок

Утверждена приказом по университету № 6141/с от 10 мая 2016

Руководитель ВКР: Ф.А.Бурюкин, доцент, кандидат химических наук

Исходные данные для ВКР: учебная и научная литература, интернет ресурсы

Перечень разделов ВКР: Введение. 1 Литературный обзор. 2 Обоснование
выбранного направления. 3 Экспериментальная часть. Заключение. Список
использованных источников

Перечень графического материала: 16 слайдов Microsoft PowerPoint

Руководитель ВКР



подпись

Ф. А. Бурюкин

Задание принял к исполнению



подпись

Е. А. Горестов

« 10 » мая 2016 г.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская квалификационная работа по теме «Разработка испытательного стенда для тестирования антитурбулентных присадок» содержит 67 страниц документа, 15 использованных источников, 5 таблиц, 25 формул, 27 иллюстраций, 4 приложения.

АНТИТУРБУЛЕНТНЫЕ ПРИСАДКИ, КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ, ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД, ПРОЕКТ, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ПРЕИМУЩЕСТВА

Цели работы:

- исследование влияния действия антитурбулентных присадок на режим течения жидкости в трубопроводе;

- разработка проекта испытательного стенда для лабораторных исследований эффективности действия антитурбулентных присадок на примере нефтей Ванкорского месторождения;

- создание руководства по эксплуатации установки для определения оценки действия реагентов, необходимой для исследования эффективности свойств присадок.

В результате проведения работы, были изучены теоретические основы эффекта снижения гидродинамического сопротивления трению под воздействием антитурбулентных присадок. Проведен подбор оборудования, разработан проект лабораторного стенда, и составлен план руководства по его эксплуатации для исследования эффективности действия присадок.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Литературный обзор	7
1.1 Гидродинамические основы	7
1.2 Физико-химические свойства полимеров	17
1.2.1 Особенности химической структуры.....	17
1.2.2 Молекулярно-массовое распределение.....	20
1.2.3 Пространственные конформации	21
1.3 Классификация полимеров	21
1.3.1 Карбоцепные полимеры	22
1.3.2 Координационные полимеры.....	29
1.3.3 Нефтяные остатки	31
2 Обоснование выбранного направления	32
2.1 Свойства нефтей Ванкорского месторождения.....	33
2.2 Испытания присадок	34
3 Экспериментальная часть.....	35
3.1 Объекты исследования.....	35
3.1.1 Антитурбулентные присадки.....	35
3.1.2 Гидродинамические установки.....	36
3.1.2.1 Турбореометр.....	37
3.1.2.2 Трубчатые установки замкнутого типа	39
3.1.2.3 Ротационные гидродинамические установки	40
3.2 Методы исследований	41
3.2.1. Выбор оборудования.....	42
3.2.1.1 Выбор трубы для змеевика	42
3.2.1.2 Выбор насоса высокого давления	42
3.2.1.3 Расчет количества колен на трубе.....	43
3.2.1.4 Расчет габаритов термостата	44
3.2.1.5 Подбор оборудования термостата.....	46

3.2.1.6 Выбор насоса для циркуляции нефти в баке	46
3.2.1.7 Выбор расходомера	46
3.2.1.8 Выбор манометров.....	46
3.3 Обсуждение результатов.....	47
3.3.1 Принципиальная схема установки	47
3.3.2 Описание работы установки	48
3.3.3 Сравнительный анализ оборудования.....	49
3.3.3.1 Расходомер	49
3.3.3.2 Манометр.....	50
3.3.4 Преимущества проектируемого стенда	52
3.4 Выводы.....	52
Заключение	54
Список сокращений	55
Список использованных источников	56
Приложение А Принципиальная схема испытательного стенда	58
Приложение Б Габаритный чертеж циркуляционного насоса	59
Приложение В Габаритный чертеж вихревого насоса.....	60
Приложение Г Проект руководства по эксплуатации испытательного стенда для тестирования антитурбулентных присадок	61

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития нефтедобывающей промышленности все отчетливее прослеживается тенденция увеличения объемов добываемой нефти, что, естественно, приводит к возникновению проблемы ее бесперебойной транспортировки к местам переработки и на экспорт. Кроме этого, ведутся активные разработки новых месторождений, зачастую расположенных в удаленных и труднодоступных регионах. Все это существенно увеличивает расходы на транспортировку добываемого сырья, поэтому предлагаются различные пути разрешения данной проблемы.

Длительная разработка основных месторождений в ведущих нефтедобывающих регионах мира привела к истощению большей части запасов легких нефтей, обладающих сравнительно небольшой плотностью и вязкостью, а их место постепенно занимают тяжелые высоковязкие нефти с большим содержанием твердых парафинов и смолисто-асфальтеновых веществ (САВ). Однако, если для высоковязких нефтей можно уменьшить трение у стенок нефтепровода добавлением менее вязких жидкостей (например, воды), то для перекачки сырья малой и средней вязкости необходимо иное решение, поскольку в турбулентном режиме течения этих сред возникают повышенные гидравлические сопротивления, которые существенно повышают нагрузку на перекачивающие устройства.

Одним из вариантов решения данной проблемы является создание и использование химических добавок, способных регулировать в нужном направлении параметры рабочей среды. Широкое распространение в нефтедобывающей отрасли получили способы снижения гидравлических потерь путем добавления в сырье антитурбулентных присадок (АТП). Молекулы АТП, представляющие собой длинные полимерные цепочки, при введении в поток нефти распрямляются, сглаживая турбулентные возмущения и увеличивая толщину вязкого ламинарного подслоя, что, в свою очередь, снижает гидравлическое сопротивление.

Основной целью данной работы является разработка проекта испытательного стенда для лабораторных исследований эффективности действия АТП на примере присадок, применяемых в настоящее время на Ванкорском нефтяном месторождении, расположенном на севере Красноярского края.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ознакомиться с теоретическими основами явления снижения гидродинамического сопротивления трению, свойствами АТП и классами веществ, которые могут быть использованы в качестве них;

- рассмотреть известные типы присадок, применяемых в настоящее время на Ванкорском месторождении;

- разработать проект лабораторного стенда и руководство по эксплуатации, необходимых для исследования свойств и эффективности действия АТП;

- провести сравнительный анализ оборудования, необходимого для создания испытательного стенда.

1 Литературный обзор

1.1 Гидродинамические основы

Эффект снижения сопротивления турбулентного течения при введении в поток перекачиваемой жидкости полимерных добавок был установлен английским химиком Томсом в 1946 году [15]. Открытие данного явления вызвало значительный интерес у множества исследователей. В последующие годы началось активное изучение обнаруженного эффекта в научных кругах и возможности применения его на реально действующих объектах при решении различных прикладных задач.

Для изучения явления снижения трения необходимо учитывать некоторые гидродинамические свойства изучаемых жидкостей [8]. В частности, возникновение силы внутреннего трения, препятствующей движению потока жидкости, обусловлено наличием вязкости. Движущей силой в процессе движения потока является разность давлений, создаваемая посредством насосов или же возникающая из-за разницы в плотности жидкостей. Потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений обусловлены режимом движения жидкости.

В 1883 году Рейнольдс установил, что основными факторами, определяющими характер режима, являются средняя скорость движения v , диаметр трубопровода d , плотность ρ и вязкость η жидкостей. Для характеристики режима движения жидкости он ввел безразмерный параметр который учитывает и связывает между собой все вышеназванные величины. Этот параметр был назван числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd\rho}{\eta} \quad (1)$$

Как известно, существуют два основных режима движения жидкости – ламинарный и турбулентный. Ламинарное течение жидкости можно рассматривать, как движение ее отдельных слоев, которое происходит без перемешивания частиц. В таком режиме все линии потока направлены параллельно оси трубы, в которой осуществляется движение.

При турбулентном же режиме не существует видимой закономерности движения, поскольку отдельные частицы перемещаются по хаотичным траекториям, а вся масса жидкости, в целом, движется в одном направлении. Причина этого кроется в пульсации скоростей, под действием которых частицы, движущиеся в осевом направлении, получают также поперечные перемещения, за счет чего и происходит интенсивное перемешивание потока по его сечению. Естественно, что затраты энергии на движение жидкости в турбулентном режиме будут значительно больше, чем в ламинарном.

Значение коэффициента Рейнольдса, при котором ламинарный режим переходит в турбулентный, называют критическим. Оно не является постоянным и в реальности, при некоторых условиях, переходная зона может оказаться довольно широкой. Но при расчетах допускается упрощение, согласно которому, при значении $Re < 2300$ режим всегда считается ламинарным, при $Re > 2300$ — всегда турбулентным, а движение жидкости в переходной зоне исключается из рассмотрения, что приводит к некоторому запасу и большей надежности в гидравлических расчетах.

Как уже было сказано, в турбулентном потоке, кроме пульсаций скорости, образуются также пульсации давления. В результате их воздействия между соседними слоями жидкости возникает обмен частицами, обусловленный их поперечным перемещением, что и приводит к ее перемешиванию. Однако, вблизи стенок трубы возникновение поперечных перемещений невозможно, поэтому частицы здесь движутся почти параллельно стенкам. Многочисленные экспериментальные исследования позволили установить наличие вблизи стенок трубы так называемого вязкого подслоя, в котором движение жидкости всегда происходит в ламинарном режиме. Его

толщина, как правило, невелика и составляет малые доли миллиметра. Основная же часть потока (ядро) при этом движется турбулентно с одинаковой для всех частиц осредненной скоростью (средняя по времени скорость в данной точке).

Связь между давлением P , скоростью v и пьезометрической высотой z в различных сечениях потока выражается через фундаментальное уравнение гидравлики – уравнение Бернулли, согласно которому, полная удельная энергия идеальной жидкости в любом сечении потока постоянна:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{const}, \quad (2)$$

где 1-1 и 2-2 являются произвольными сечениями в потоке;

z – удельная энергия положения (характеризует потенциальную энергию);

$\frac{P}{\rho g}$ – удельная энергия давления (характеризует потенциальную энергию);

$\frac{v^2}{2g}$ – удельная энергия скорости (характеризует кинетическую энергию).

Для реальной жидкости уравнение выглядит несколько иначе:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{пот}}^{1-2} = H = \text{const} \quad (3)$$

Здесь появляются коэффициенты Кориолиса α , которые зависят от режима течения жидкости (для турбулентного режима $\alpha=1$, для ламинарного $\alpha=2$), а также величина потеряннного напора $h_{\text{пот}}^{1-2}$, которая учитывает затраты энергии жидкости на преодоление всех видов гидравлического сопротивления:

$$h_{\text{пот}}^{1-2} = h_{\tau} + \Sigma h_m, \quad (4)$$

где h_τ – потери напора на трение по длине потока;

Σh_m – суммарные потери потока на местном сопротивлении, определяются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (5)$$

где v – скорость течения жидкости;

g – ускорение свободного падения;

ξ – коэффициент местного сопротивления, зависящий от вида местного сопротивления и значения числа Рейнольдса.

Вид местного сопротивления определяется внезапным или постепенным изменением размеров или же конфигурации русла трубы:

– внезапное расширение русла. Потеря напора (энергии) при внезапном расширении русла расходуется на вихреобразование, связанное с отрывом потока от стенок, т.е. на поддержание вращательного непрерывного движения жидких масс с постоянным их обновлением:

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2, \quad (6)$$

где $S = \pi d^2/4$;

– постепенное расширение русла. Постепенно расширяющаяся труба называется диффузором. Течение скорости в диффузоре сопровождается ее уменьшением и увеличением давления (т.е. преобразованием кинетической энергии жидкости в потенциальную энергию давления). В диффузоре происходит отрыв основного потока от стенки и вихреобразования. Интенсивность этих явлений возрастает с увеличением угла расширения диффузора α :

а) если $\alpha < 8^\circ$:

$$\zeta = 0,15 - 0,2 \cdot \left(1 - \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right) \quad (7)$$

б) если $8^\circ < \alpha < 30^\circ$:

$$\zeta = \sin \alpha \cdot \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad (8)$$

в) если $\alpha > 30^\circ$:

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad (9)$$

– внезапное сужение русла. Потеря напора обусловлена трением потока при входе в более узкую трубу и потерями на вихреобразование, которые образуются в кольцевом пространстве вокруг суженной части потока:

$$\zeta = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \quad (10)$$

– постепенное сужение русла. Постепенно сужающаяся труба называется конфузуром. Небольшое вихреобразование и отрыв потока от стенки с одновременным сжатием потока возникает лишь на выходе из конфузора в месте соединения конической трубы с цилиндрической. Закруглением входного угла можно значительно уменьшить потерю напора при входе в трубу:

$$\zeta = \frac{\lambda_r}{8 \sin \alpha / 2} \left(1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right) \quad (11)$$

– внезапный поворот трубы (колени). Вызывает значительные потери энергии, т.к. в нем происходят отрыв потока и вихреобразования, причем потери тем больше, чем больше угол δ . Коэффициент местного сопротивления определяется по графику зависимости от угла колена δ и лежит в интервале значений 1-1,5;

– постепенный поворот трубы (отвод). Плавность поворота значительно уменьшает интенсивность вихреобразования и сопротивление отвода по сравнению с коленом. Это уменьшение тем больше, чем больше относительный радиус кривизны отвода R/d . Коэффициент местного сопротивления зависит от относительного радиуса кривизны отвода, формы поперечного сечения трубы и угла колена δ :

а) если отвод представляет собой трубу круглого сечения с углом $\delta=90^\circ$ и отношение $R/d \geq 1$:

$$\zeta = 0,051 + \frac{0,19d}{R}, \quad (12)$$

где d – внутренний диаметр трубы;

R – радиус закругления трубы.

б) если $\delta \leq 70^\circ$:

$$\zeta = 0,9 \cdot \left(0,051 + \frac{0,19d}{R}\right) \sin \delta \quad (13)$$

в) если $\delta \geq 100^\circ$:

$$\zeta = \left(0,7 + \frac{\delta}{90} \cdot 0,35\right) \cdot \left(0,051 + \frac{0,19d}{R}\right) \quad (14)$$

Все это относится к турбулентному движению жидкости, поскольку при ламинарном движении местные сопротивления играют малую роль при определении общего сопротивления трубопровода.

Потери напора на трение по длине потока рассчитываются при помощи уравнения Дарси-Вейсбаха:

$$h_{\tau} = \lambda \frac{Lv^2}{d \cdot 2g}, \quad (15)$$

где L – длина трубопровода;

d – его диаметр;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления, который, в общем случае, зависит от значений числа Рейнольдса и шероховатости стенок трубопровода.

Состояние стенок, которые, в определенной степени, обладают известной шероховатостью, серьезно влияет на свойства турбулентного потока. Шероховатость определяется формой и размерами различных выступов и неровностей, присутствующих на стенках. В качестве ее основной характеристики используется значение абсолютной шероховатости k , показывающее среднюю величину неровностей и выступов, выраженное в единицах длины. Соответственно, различают гидравлически гладкие трубы, у которых величина выступов меньше размеров вязкого подслоя ($k < \delta_{в.с.}$) и шероховатые ($k > \delta_{в.с.}$), у которых неровности будут выступать в турбулентную часть потока, увеличивая беспорядочность движения и потери энергии.

Однако, толщина вязкого подслоя неодинакова, и меняется в зависимости от значений числа Рейнольдса. Соответственно, с увеличением Re гидравлически гладкие трубы будут становиться более шероховатыми, и наоборот. Поэтому, для характеристики гидравлических сопротивлений используют также относительную шероховатость ε , которая равна безразмерному отношению абсолютной шероховатости к размеру радиуса трубы:

$$\varepsilon = \frac{k}{r} \quad (16)$$

В реальности, на величину гидравлического сопротивления большое влияние оказывают также форма и густота выступов, которые при непосредственных измерениях шероховатости учесть почти невозможно. Поэтому в промышленном проектировании трубопроводов учитывают такую величину, как эквивалентную шероховатость Δ , отображающую такую величину выступов однородной абсолютной шероховатости, которая при расчетах дает одинаковую с действительной шероховатостью потерю напора. Для каждого материала, применяемого в изготовлении труб, это значение будет своим.

Коэффициент гидравлического сопротивления λ можно определить при помощи диаграммы Никурадзе, или же используя следующие расчетные формулы, показывающие зависимость от числа Рейнольдса и значения эквивалентной шероховатости:

– для ламинарного режима ($Re < 2000$) – формула Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (17)$$

– переходная зона ($2000 < Re < 3000$) – формула Френеля:

$$\lambda = \frac{2,7}{Re^{0,53}} \quad (18)$$

– область гидравлически гладких труб при турбулентном режиме ($3000 < Re < 80r/k$) – формула Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} \quad (19)$$

– область гидравлически шероховатых труб (зона смешанного трения) при турбулентном режиме ($80r/k < \text{Re} < 1000r/k$) – формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{k}{d} \right)^{0,25} \quad (20)$$

– область «вполне шероховатых» труб (зона квадратичного сопротивления) при турбулентном режиме ($R > 1000r/k$) – формула Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k}{d} \right)^{0,25} \quad (21)$$

Несмотря на обширные исследования в этой области, до сих пор отсутствует достаточно полная теория возникновения явления гидродинамического сопротивления трению. Причиной этого является его сложность, поскольку для описания нужны серьезные исследования как минимум в физикохимии полимеров, гидродинамике и реологии, а также недостаток некоторых прямых экспериментальных данных.

Существующее многообразие гипотез, описывающих возникновение данного явления, можно разделить на три основные группы [2].

Согласно теориям, основанным на адсорбции полимера, активной является только та часть полимера, которая адсорбирована на стенке трубы. Однако, в результате большого количества проведенных экспериментальных исследований, было установлено, что адсорбционный слой не играет главную роль в механизме возникающего явления, поскольку адсорбированные

молекулы полимеров, снижающих трение, лежат в плоскости поверхности и попросту не могут активно взаимодействовать с потоком жидкости.

Структурные теории рассматривают взаимодействие потока с отдельными микроскопическими частицами (макромолекулами, ассоциатами частиц). Для объяснения воздействия индивидуальных частиц на турбулентность вблизи стенок трубопровода предлагаются различные механизмы, согласно которым, макромолекулы (или же их ассоциаты) в сдвиговом турбулентном потоке испытывают упругие деформации, в результате чего гасится воздействие высокочастотных вихрей и пульсаций, или же происходит ослабление зарождающихся возмущений в пристеночной области. Данные гипотезы довольно популярны, однако они не дают однозначного ответа на некоторые вопросы. Например, какие частицы более эффективны – индивидуальные или их ассоциаты? Какой механизм оказывает большее влияние – упругая деформация или дополнительная вязкость? Ослабляется ли процесс в пристенной области или же в момент передачи энергии от вихрей? Расхождение существует и насчет формы частиц, одни авторы считают, что молекулы должны иметь ассиметричную форму, другие полагают, что это не имеет большого значения.

Наконец, в реологических теориях полимерные молекулы рассматриваются в виде совокупности последовательно соединенных одинаковых элементов. Они обладают определенным набором релаксационных свойств, благодаря чему могут воздействовать на гидродинамическое трение. Большинство работ объясняют это наличием времени релаксации или обратимой упругой деформации, что снижает рассеивание энергии. В целом, пока не выделены характерные свойства, которые однозначно приводили к эффекту снижения сопротивления. Тем более, что некоторые растворы, обладающие вязкоупругими свойствами, в принципе не способны оказывать влияния на гидродинамическое сопротивление.

В целом, из рассмотренных теорий, описывающих эффект снижения гидродинамического сопротивления, можно выделить следующие общие моменты [1]:

- структура разбавленных растворов полимеров представляет собой форму статического свернутого клубка, размеры которого зависят от качества растворителя;

- полимеры оказывают в первую очередь воздействие на течение в пристенной области потока, там, где существуют пульсации (генерации турбулентности). Присадки работают, как успокоители потока, ламинизируя его. Происходит это за счет образования флуктуационного слоя полимера, который является составной частью движущегося объема жидкости;

- скорость перехода макромолекул в флуктуационный слой (при постоянных P и T) пропорциональна концентрации полимера в растворе и доле не занятой полимером поверхности в слое.

1.2 Физико-химические свойства полимеров

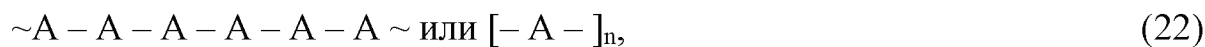
Влияние высокомолекулярных соединений на снижение явления турбулентного трения определяется пятью основными физико-химическими показателями [1]:

- структурным строением;
- молекулярно-массовым распределением;
- пространственной конформацией;
- химическим составом;
- молекулярной массой.

1.2.1 Особенности химической структуры

Макромолекулы высокомолекулярных соединений состоят, как правило, из большого количества повторяющихся звеньев, которые связаны между собой

ковалентными или координационными связями. Схематически это можно представить в следующем виде:



где A – повторяющееся звено;

n – число звеньев цепи (степень полимеризации).

Макромолекулы могут быть образованы однотипными звеньями (такие вещества называют гомополимерами), либо же звеньями различного состава и строения (сополимеры), но число типов звеньев должно быть конечным.

Если основная цепь макромолекулы образовано только атомами углерода, такой полимер называется карбоцепным. К этому типу относят большинство промышленных полимеров.

Если же в основной цепи содержатся атомы других элементов (кислород, сера, азот), то такой полимер называют гетероцепным.

Наконец, при наличии в цепи макромолекул фосфора, алюминия, кремния, которые не встречаются в природной органике, полимеры называют элементоорганическими.

Полимерная макромолекула может быть построена как из симметричных звеньев (при этом исключается возможность изомерии), так и несимметричных. Последние, в свою очередь, могут соединяться в цепь упорядоченно по типу «голова к хвосту», «голова к голове» или же неупорядоченно. На рисунках 1-3 приведены различные типы полимерной структуры:

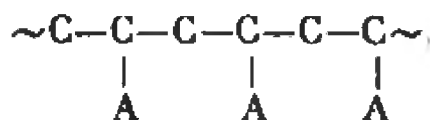


Рисунок 1 – Полимерная структура типа «голова к хвосту»

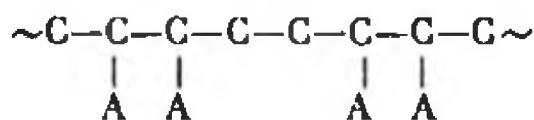


Рисунок 2 – Полимерная структура типа «голова к голове»

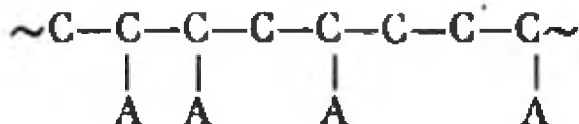


Рисунок 3 – Неупорядоченная полимерная структура

Наиболее часто образуется полимер типа «голова к хвосту». Благодаря тому, что в каждом звене такой молекулы находится ассиметричный атом углерода, полимер может образовывать различные пространственные изомеры:

- изотактический, в котором наблюдается строгое повторение звеньев, а заместители расположены по одну сторону;
- синдиотактический (рисунок 5), отличающийся от первого типа наличием противоположных стерических конфигураций;
- атактический, не имеющий строгого повторения звеньев.

Пространственная изомерия полимерных молекул представлена на рисунках 4 и 5:

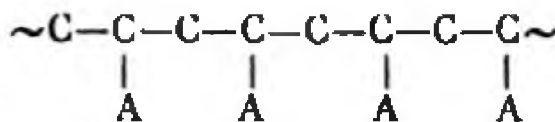


Рисунок 4 – Изотактическая изомерия полимерной молекулы

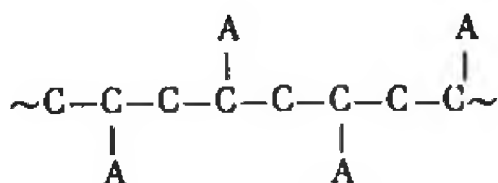


Рисунок 5 – Синдиотактическая изомерия полимерной молекулы

Благодаря наличию пространственных изомеров, даже полимеры с одинаковым химическим составом существенно отличаются своими физическими и химическими свойствами.

1.2.2 Молекулярно-массовое распределение

Практически все высокомолекулярные соединения образованы полимерными цепями с различной молекулярной массой, т.е. являются полидисперсными. Это свойство полимеров описывается функцией молекулярно-массового распределения (ММР). Согласно ей, чем сильнее различаются по молекулярной массе отдельные макромолекулы, тем выше полидисперсность полимера и шире будет на графике функция ММР.

Каждый полимер также возможно разделить на составляющие его фракции, обладающие более узким ММР. Этот способ деления называется фракционированием, а его результаты представлены на рисунке 6 в виде интегральной (а) и дифференциальной (б) зависимостей:

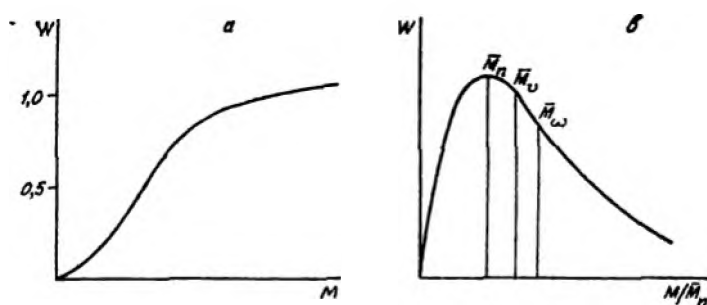


Рисунок 6 – Интегральная (а) и дифференциальная (б) зависимости результатов фракционирования ММР

При построении интегральной кривой на графике откладывают величину молекулярной массы фракции M и ее интегральной массовой доли W . Она не является достаточно информативной, поскольку не показывает количественного соотношения различных фракций. Более наглядной является дифференциальная кривая. Положение максимума на графике показывает, содержание какой фракции в полимере является преобладающим и оказывает наибольшее влияние на его свойства.

1.2.3 Пространственные конформации

Как правило, полимерная цепь является достаточно длинной, чтобы принимать огромное число различных конформаций (поворотных изомеров). Конечное число конформаций ограничивается расстоянием между концами цепи. Ввиду этого, для описания их свойств используются законы статистической математики. За базовую модель принимается свободносочлененная цепь, в которой фиксированными являются только длины связей, а валентные углы с равной степенью вероятности могут принимать любые значения. Такая цепь имеет наибольшее число конформаций и является предельно гибкой.

1.3 Классификация полимеров

Ю. Белоусов в своей монографии [1] выделяет три класса высокомолекулярных веществ, которые могут снижать сопротивление течению жидкости:

- синтетические или природные карбоцепные полимеры;
- координационные полимеры;
- высокомолекулярные нефтяные остатки.

1.3.1 Карбоцепные полимеры

Полиметилметакрилат (ПММА) – один из первых полимеров, на котором был обнаружен эффект снижения турбулентного трения. Структура ПММА, имеющая линейное строение, представлена на рисунке 7:

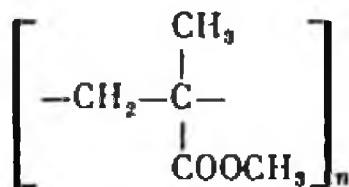


Рисунок 7 – Фрагмент структуры ПММА

В зависимости от условий полимеризации ПММА может быть изотактическим, синдиотактическим, атактическим. Получаемый в промышленности ПММА является аморфным атактическим полимером, макромолекулы которого на 80% состоят из синдиотактических последовательностей.

Экспериментальные данные работы английского химика Б. Томса [15] доказывают, что действие ПММА проявляется только в турбулентном режиме при достижении определенных сдвиговых напряжений у стенки трубы.

Наряду с ПММА в качестве добавки для снижения турбулентного трения жидкостей изучались полиметакрилаты (ПМА) с более длинными алкильными заместителями, например, полилаурилметакрилат (ПЛМА), полиизодецилметакрилат (ПИДМА), полиизобутилметакрилат (ПИБМА). Структура ПМА, представляющих собой атактические или стереорегулярные полимеры сложных эфиров метакриловой кислоты, представлена на рисунке 8:

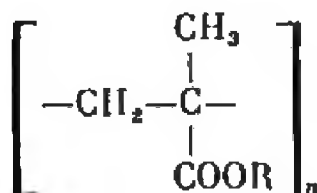


Рисунок 8 – Фрагмент структуры ПМА

ПМА с алкильными радикалами $\text{C}_2 - \text{C}_{14}$ представляют собой клейкие каучукоподобные соединения. С увеличением длины углеродной цепи радикала уменьшаются прочность, плотность и твердость, увеличивается эластичность. Увеличение числа углеродных атомов свыше 10 обуславливает рост жесткости полимера, что объясняется взаимодействием боковых алкильных радикалов.

Наилучшими растворителями для ПМА являются хлорированные и ароматические углеводороды (УВ), а также сложные эфиры. В неполярных средах растворимость улучшается с увеличением количества атомов углерода в радикале.

Исследование свойств растворов ПИДМА в трихлорэтаноле и ароматике [11] особенно наглядно подчеркивают необычность эффекта снижения сопротивления турбулентного трения присадками, так как раствор полимера с кинематической вязкостью в 20 раз большей, нежели у чистого растворителя, течет в 2 раза быстрее него. Кроме того, ПИДМА является наиболее устойчивым к сдвиговой деструкции среди остальных изученных ПМА.

Еще одна разновидность карбоцепных полимеров – полиакрилаты (ПА). В обычных условиях представляют собой каучукоподобные клейкие вещества с низкой твердостью. По мере увеличения числа атомов углерода в радикале ПА все больше становится похожими на парафины. Их структура представлена на рисунке 9:

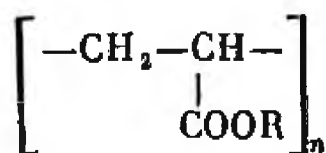


Рисунок 9 – Фрагмент структуры ПА

Наилучшую растворимость проявляют в ароматике и сложных эфирах, а с увеличением длины радикала – и в полярных растворителях (как и ПМА). Одним из наиболее доступных и дешевых ПА является полигексадецилакрилат (ПГДА), получаемый переэтерификацией промышленного метилакрилата цетиловым спиртом. Существуют также научные исследования [11] поли-2-этилгексилакрилата (ПЭГА) и полиизобутилакрилата (ПИБА).

В промышленных масштабах для снижения гидродинамического сопротивления нефти и нефтепродуктов используется полиизобутилен (ПИБ). Его получают полимеризацией изобутилена при $t = -100^\circ\text{C}$ в присутствии катализатора. Структура получаемого ПИБ, обладающая хорошей растворимостью в УВ и хлорированных УВ, представлена на рисунке 10:

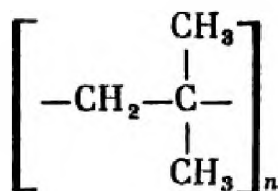


Рисунок 10 – Фрагмент структуры ПИБ

Тем не менее, широкого распространения он не получил, главным образом из-за высокой склонности к деструкции в сдвиговых потоках.

Большую группу полимеров образуют полиолефины, которые могут образовываться при гомо- или сополимеризации олефинов. Их структура представлена на рисунке 11:

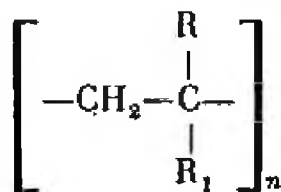


Рисунок 11 – Фрагмент общей структуры гомополимеров

В зависимости от природы заместителей R и R₁ выделяют три подгруппы:

- R=R₁=H или R=H, R₁ – алкил линейного строения (полиэтилен, полипропилен, полибутилен и ПИБ);
- R=H, R₁ – алкил разветвленного строения (поли-4-метилпентен, поли-3-метилбутен);
- R=H, R₁ – циклический УВ радикал.

Среди сополимеров наибольший интерес представляют сополимеры этилен-пропилена, обладающие высокой эффективностью снижения сопротивления течения и неплохой устойчивостью к деструкции.

В последнее время также широко исследуются полимеры высших α-олефинов, содержащих разветвленные или циклические заместители. На основе продуктов их полимеризации, содержащих в боковой цепи от 6 до 20 атомов углерода, разработаны многие современные антитурбулентные присадки, имеющие промышленное применение.

Из полимеров с циклическими заместителями наиболее распространен полистирол (ПС). Промышленный ПС представляет собой аморфный, прозрачный, относительно хрупкий продукт, получаемый эмульсионной полимеризацией по периодической схеме. ПС, как и большинство полимеров, хорошо растворим в ароматике, сложных эфирах, хлорированных УВ, его структура представлена на рисунке 12:

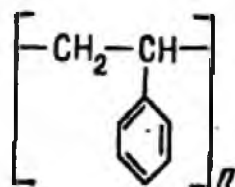


Рисунок 12 – Фрагмент структуры ПС

ПС является одним из наиболее хорошо изученных полимеров, применяемых в качестве противотурбулентных присадок. Так, например, исследования ПС [12] позволили установить, что образцы полимеров, обладающие более узким ММР, имеют большую устойчивость к деструкции. А в «хорошем» растворителе (бензол, толуол) скорость деструкции значительно ниже, что требует меньшую концентрацию полимера для достижения необходимого эффекта, чем в «плохом» растворителе (например, смеси толуол-изооктан).

Достаточно хорошо изучены и полибутадиены (ПБ) [2]. К этой группе относят полимеры 1,4-цис, 1,4-транс, и 1,2-бутадиена. В зависимости от природы катализатора, способа и условий полимеризации, полимеры образуются в различном соотношении. Всего получено четыре различных вида ПБ, их структура представлена на рисунке 13:

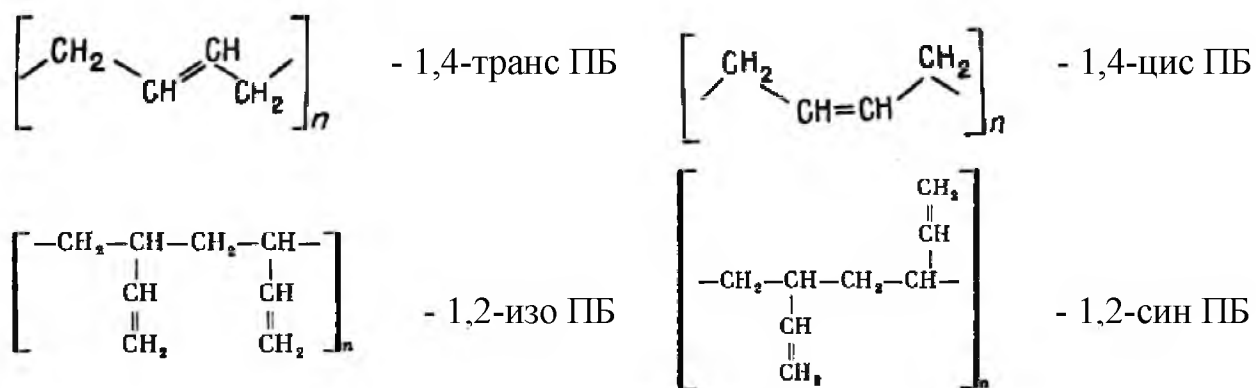


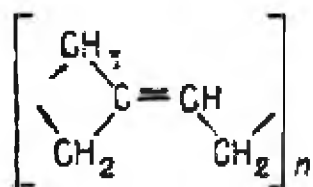
Рисунок 13 – Структурные фрагменты изомеров ПБ

В промышленном производстве наиболее распространен 1,4-цис ПБ (до 90%). Благодаря различным исследованиям ПБ удалось установить, что его эффективность возрастает с ростом молекулярной массы полимера, кроме того это позволяет добиваться антитурбулентного эффекта при меньших значениях коэффициента Рейнольдса. С другой стороны, неограниченное увеличение молекулярной массы уже не будет оказывать заметного влияния на эффективность присадки, так как в таком случае резко возрастет вязкость раствора.

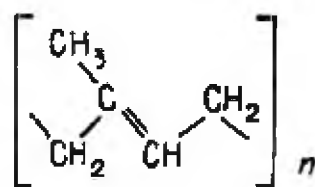
При изучении влияния ММР на деструкцию ПБ был сделан вывод, что наиболее быстро протекает деструкция образцов с широким ММР, а фракции с высокой молекулярной массой оказывают наибольшее влияние на эффект снижения сопротивления течению. Следовательно, для получения максимальной эффективности необходимо применять образцы с высокой молекулярной массой и узким ММР.

Кроме того, в процессе исследований различных образцов ПБ, было установлено, что эффективность достаточно сильно зависит от структуры полимера. Влияние на снижения сопротивления уменьшается в ряду 1,2-ИПБ > 1,4-транс-ПБ > 1,4-цис-ПБ > 1,2-СПБ.

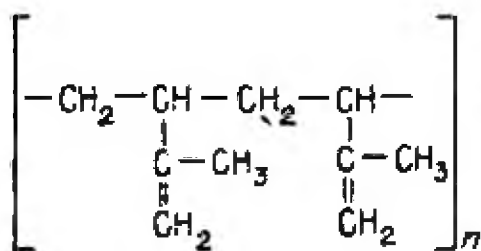
Наконец, благодаря изучению влияния структуры макромолекул ПБ на эффективность снижения гидродинамического сопротивления, удалось объяснить противоречивые данные [14] по эффективности полиизопрена (ПИП). У ПИП существует 6 различных конфигураций, представленных на рисунке 14:



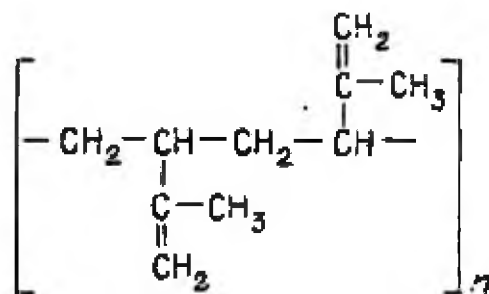
1,4-цис-ПИП



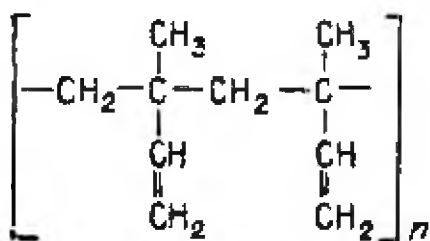
1,4-транс-ПИП



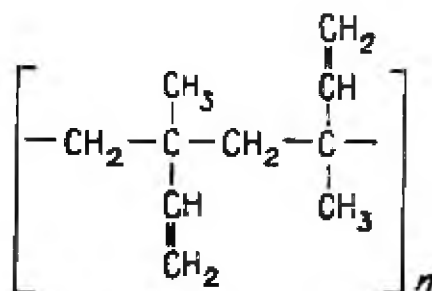
3,4-ИПИП



3,4-СПИП



1,2-ИПИП



1,2-СПИП

Рисунок 14 – Фрагменты различных структурных изомеров ПИП

Наиболее распространены из них 1,4-цис и 1,4-транс ПИП, выпускаемые для нужд резинотехнической промышленности. При комнатной температуре ПИП аморфны, они обладают хорошей растворимостью в ароматике и хлорированных УВ, а также спиртах и кетонах.

Благодаря экспериментальным исследованиям удалось определить ряд эффективности, аналогичный ряду ПБ, однако максимальная эффективность образцов ПИП, в целом, несколько выше.

1.3.2 Координационные полимеры

Эти полимеры образуются в растворе УВ из моно- или дизамещенных солей алюминия, карбоновых и алкилфосфорных кислот. Интерес к их исследованиям возник в 1970-е годы, когда были изучены способы их получения и физико-химические свойства на основе полигидроксодикарбоксилатов алюминия (ПГКА) [13], структура которого изображена на рисунке 15:

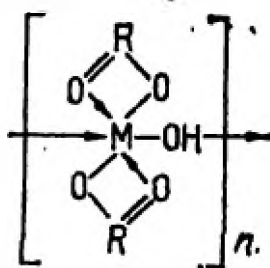


Рисунок 15 – Фрагмент структуры ПГКА

Помимо хорошей растворимости в нефти и нефтепродуктах, ПГКА обладают высокой устойчивостью к механической деструкции благодаря способности координационных связей обратимо восстанавливаться после сдвиговых нагрузок.

Получают ПГКА методами двойного осаждения солей алюминия с калиевыми или натриевыми мылами карбоновых кислот, из окиси алюминия и карбоновой кислоты, а также напрямую из металлического алюминия. Способы получения показаны на рисунках 16-18:

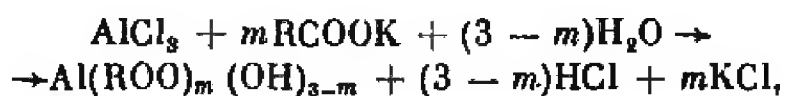


Рисунок 16 – Получение ПГКА методом двойного осаждения

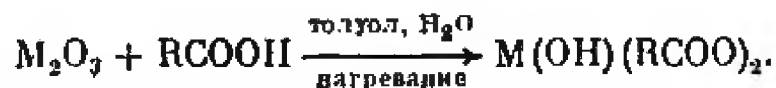


Рисунок 17 – Получение ПГКА из окиси алюминия

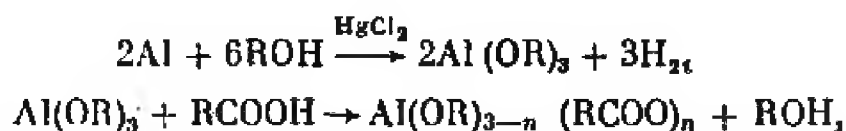


Рисунок 18 – Прямое получение ПГКА из алюминия

Полученные продукты легко растворяются в бензоле, толуоле, эфирах, дихлор- и дибромэтано, но нерастворимы в спиртах и воде.

Основным параметром, определяющим эффективность координационных полимеров как антитурбулентных присадок, является их молекулярная масса. В ходе исследований ПГКА было обнаружено, что их средняя молекулярная масса в растворах зависит от исходной концентрации соединения: чем ниже исходная концентрация вещества в растворе, тем меньше молекулярная масса образующейся присадки, а значит для практического применения ПГКА необходимо готовить концентрированные растворы, которые затем разбавляют растворителем.

Из гидромеханических особенностей ПГКА стоит отметить, что при увеличении вязкости используемого растворителя увеличивается и эффект снижения сопротивления, причем максимум будет наступать при меньших концентрациях.

Несмотря на все достоинства, применение ПГКА сильно ограничено ввиду дефицита используемого сырья, в качестве которого применяются только нефтяные кислоты.

Помимо карбоновых кислот, алюминий может образовывать координационный полимер на основе алкилортофосфорной кислоты, структура которого представлена на рисунке 19:

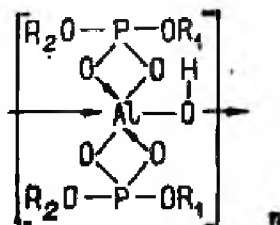


Рисунок 19 – Фрагмент полимерной структуры на основе алкилортофосфорной кислоты

Кроме карбоксилатов алюминия, подобные полимеры могут образовывать также и другие металлоорганические соединения, например, TBuSnF .

1.3.3 Нефтяные остатки

Существует и еще одна группа веществ, обладающих антитурбулентными свойствами. Это высокомолекулярные остатки от нефтяной переработки – асфальтены и смолы.

Смолы – это аморфные, относительно твердые при нормальных условиях вещества, которые будут размягчаться при нагревании. В химическом плане представляют собой смесь множества органических веществ (смоляные кислоты, сложные эфиры, эфирные масла и т.д.)

Асфальтены являются наиболее тяжелым компонентом нефти. Они представляют собой гетероорганические соединения, весьма похожие по своему строению на смолы, но имеющие существенно большую молекулярную массу.

2 Обоснование выбранного направления

Создание и использование химических добавок, способных регулировать необходимым образом параметры рабочей среды, является одним из наиболее перспективных направлений исследований снижения затрат на транспортировку нефти. Этот метод основан на введении небольших порций веществ-стабилизаторов (АТП), снижающих гидравлическое сопротивление, в эмульсионный поток. Благодаря достаточно высокой эффективности, данный метод получил широкое распространение в нефтедобыче.

Как правило, определение эффективности АТП производится путем опытно-промышленных испытаний (ОПИ) на магистральных нефтепроводах. Проведение подобных испытаний требует значительного количества времени и материальных ресурсов, что, в свою очередь, существенно отражается на их стоимости. Поэтому, многие нефтяные компании, в целях экономии, производят закупку сразу нескольких опытных образцов АТП различных производителей и применяют их без использования промышленных испытаний, ограничиваясь входным контролем. Это, естественно, не позволяет в полной мере достоверно определить эффективность того или иного типа присадки, так как условия оценки (температура, состав нефти) могут постоянно изменяться. Более эффективным способом изучения влияния свойств антитурбулентных присадок являются исследования в лабораторных условиях.

Разработка экспериментального стенда позволит организовать проведение испытаний и исследований присадок, влияющих на гидравлическое сопротивление при движении нефти по трубопроводу. В первую очередь, стенд предназначен для исследования антитурбулентных присадок, но также может быть использован для оценки снижения гидравлического сопротивления при помощи других химических продуктов, например, депрессорных присадок или поверхностно-активных веществ (ПАВ), в воспроизводимых гидродинамических условиях при перекачке нефти.

2.1 Свойства нефтей Ванкорского месторождения

Образцы нефти Ванкорского месторождения, отобранные из различных пробуренных скважин, заметно отличаются между собой по свойствам [3]. Так, образец плотностью (при 20°C) 873,4 кг/м³ является тяжёлой нефтью 3-го типа, а другие — лёгкой нефтью 1-го типа, плотностью 840,7 кг/м³, и битуминозной нефтью 4-го типа, плотностью 901,4 кг/м³. По содержанию серы, все образцы ванкорской нефти — малосернистые (1-й класс) и малопарафинистые (1-й вид)

Потенциальное содержание светлых фракций в исследованных образцах также заметно отличается. При рассмотрении фракционного состава трёх образцов ванкорской нефти выявлен наибольший выход светлых фракций (58% масс.) из образца, плотностью 840,7 кг/м³, меньший (48,2% масс.) — из образца, плотностью 873,4 кг/м³.

Наконец, по величине кинематической вязкости образцы Ванкорской нефти относятся к маловязким (до 10 мПа·с) и средневязким (10-100 мПа·с), что делает целесообразным применение АТП при их транспортировке.

Сравнение свойств различных образцов нефти, добываемой на Ванкорском месторождении, представлено в таблице 1:

Таблица 1 – Сравнительная характеристика образцов Ванкорской нефти

Показатели	Образец Ванкорской нефти		
	840,7	873,4	901,4
Плотность (при 20°C), кг/м ³	840,7	873,4	901,4
Содержание серы общей, % масс.	0,106	0,150	0,173
Содержание парафинов, % масс.	2,9	2,8	1,7
Потенциальное содержание светлых фракций, % масс.	48,2	49,1	58,0
Вязкость кинематическая, мПа·с:			
	при 20°C	9,66	24,91
при 50°C	3,87	8,83	19,65

2.2 Испытания присадок

Развитие промышленных технологий привело к тому, что различные виды химических добавок нашли широкое применение практически на всех этапах добычи, подготовки и транспортировки нефти. АТП в производственных условиях впервые были испытаны еще в 1979 году на маловязкой нефти Транс-Аляскинского нефтепровода в США [10]. Проведенные испытания свойств АТП доказали эффективность их действия, в результате чего было начато производство в промышленном масштабе.

Марки современных АТП [6, 7, 9], многие из которых применяются на производстве, представлены в таблице 2:

Таблица 2 – Известные марки АТП

Наименование АТП	Производитель	ОПИ на Ванкорском месторождении
Российские АТП		
ForeFTA	ОАО «Алтайский Химпром»	
Турбулентмастер-8010	Master Chemicals Nalco Champion	
M-FLOWTREAT	ГК «Миррико»	Да
Колтек-ПТН 3170	ООО «КОЛТЕК-специреагенты»	
Зарубежные АТП		
Liquid Power	Lubrizol (США)	
CDR 102		
FLO MXA	Baker Hughes (США)	Да
FLO XL		
LP-Arctic Grade	ConocoPhillips (США)	
Necadd-447	MI Finland Oy (Финляндия)	
Necadd-547		

Успешная разработка современных присадок, в большей мере, относится к зарубежным компаниям. Но ввиду существующей на данный момент сложной экономической и геополитической обстановки, многие российские нефтяные компании сознательно проводят испытания отечественных аналогов АТП с целью выявления эффективности их действия и возможного дальнейшего использования на производстве.

Исходя из схемы, осуществляем подбор и расчет оборудования.

3.2.1. Выбор оборудования

3.2.1.1 Выбор трубы для змеевика

В качестве материала для изготовления модельного трубопровода с отводами выбираем нержавеющую сталь марки 12Х18Н10Т (ГОСТ 9941-81) с наружным диаметром $d=10\text{мм}$, и толщиной стенки $2,5\text{мм}$. Рассчитываем давление на разрыв по ГОСТ 3845:

$$P = 200 \frac{sR}{D}, \quad (23)$$

где s – минимальная толщина стали ($2,5\text{ мм}$);

R – допустимое напряжение в стенке трубы при испытании ($2,1\text{ МПа}$, ГОСТ 3845);

D – расчетный диаметр трубы (10 мм);

200 – коэффициент для бесшовных труб.

Таким образом, давление на разрыв составит:

$$P = 200 \cdot \frac{2,5 \cdot 2,1}{10} = 10,5 \text{ МПа}$$

3.2.1.2 Выбор насоса высокого давления

В качестве насоса высокого давления выбираем плунжерный насос САТ PUMPS 280-6040 ($Q_{\text{max}}=12\text{л/мин}$ ($0,72\text{м}^3/\text{час}$), $P_{\text{max}}=7\text{ МПа}$). Данный насос позволяет в полной мере воспроизвести давление в магистральном

нефтепроводе. Начальное давление принимаем равным 5 МПа, что позволит создать напор в 500 м.

3.2.1.3 Расчет количества колен на трубе

Потерей давления на трение жидкости о поверхность трубы можно пренебречь, ввиду ее относительно малой длины.

Местное сопротивление для отвода в 90° определяется по формуле (12). Исходя из данных подбора трубы змеевика, принимаем внутренний диаметр трубы $d = 5$ мм. Радиус закругления 10 мм трубы с толщиной стенки 2,5 мм принимаем равным 30 мм, исходя из соотношения $R=3d_{\text{внешн}}$. Таким образом:

$$\zeta = 0,051 + \frac{0,19 \cdot 0,005}{0,03} = 0,0827$$

Это сопротивление на одном повороте, в секции из 4 поворотов коэффициент сопротивления $\xi = 0,3307$.

Для расчета скорости течения жидкости, необходимо определить ее расход в трубопроводе. Его находим из графика зависимости расхода Q от напора для данного насоса. При давлении в 5 МПа, расход равен 4,5 л/мин. Таким образом, $Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,000075 \text{ м}^3/\text{сек}$

Далее определяем скорость течения:

$$v = \frac{4Q}{\pi d_{\text{внутр}}^2}, \quad (24)$$

$$v = \frac{4 \cdot 0,000075}{3,14 \cdot 0,005^2} = 3,82 \text{ м/с}$$

Для расчета потери напора при турбулентном течении на одном повороте на 90°С при плавном повороте используем формулу (5). Потеря напора для секции из 4 поворотов равна:

$$h_m = 0,3307 \cdot \frac{3,82^2}{2 \cdot 9,8} = 0,246 \text{ м} = 0,0024 \text{ МПа}$$

Принимая размеры секции из четырех колен, равными 50 мм в высоту и 50 мм в ширину, вмещаем по 10 секций змеевика, представленного на рисунке 26, в 1,05 метра:

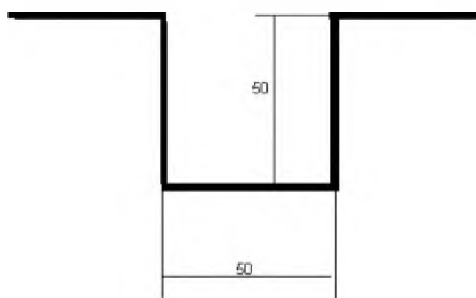


Рисунок 26 – Габариты змеевика

3.2.1.4 Расчет габаритов термостата

Из расчета количества колен определяем, что подобных змеевиков необходимо 100 штук. Располагаем змеевики на расстоянии в 40 мм друг от друга, вмещая в 1 метр термостата по 20 змеевиков. В итоге, в термостате должно уместиться по 5 рядов. Целесообразно принять высоту термостата 1 метр и ширину 1,2 метра. Для определения длины термостата, необходимо включить в него габариты конусного бака.

Общая протяженность трубки в змеевике составит 205 метров. Около 20 метров потребуется на все подключения между собой, насосами и приборами.

Объем жидкости в трубопроводе равен:

$$V = \pi R^2 L, \quad (25)$$

$$V = 3,14 \cdot 0,0025^2 \cdot 225 = 0,0044 \text{ м}^3 = 4,4 \text{ л}$$

Необходимо этот объем увеличить в три раза для оптимальной циркуляции в конусообразном баке:

$$V = 4,4 \cdot 3 = 13,2 \text{ л}$$

Для неполного заполнения бака расчетный объем увеличиваем еще в 2 раза и принимаем равным 26,4 л. Габариты конуса находим из формулы:

$$V = \frac{\pi R^2 h}{3}. \quad (26)$$

Приняв высоту h равной 50 см, выразим размер радиуса конуса из формулы (26):

$$R = \sqrt{\frac{3V}{\pi h}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 26,4}{3,14 \cdot 0,5}} = 0,225 \text{ м} = 22,5 \text{ см}$$

Следовательно, длину термостата можно принимать равной 1,6 метра. В итоге, термостат имеет габариты 1600x1200x1000 мм и объем теплоносителя 1,92 м³.

3.2.1.5 Подбор оборудования термостата

Для поддержания постоянной температуры в термостатируемом объеме с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ возможно использование нагревательного элемента с терморегулятором. Перемешивание теплоносителя осуществляем вихревым насосом Lowara типа PSAM70/A с максимальной производительностью 16 м³/ч. Габаритный чертеж насоса представлен в приложении В.

3.2.1.6 Выбор насоса для циркуляции нефти в баке

В системе предварительного перемешивания нефти в конусной емкости используем циркуляционный насос Grundfos серии Alpha 25-40 с пропускной способностью $Q=3,6$ м³/ч. Габаритный чертеж насоса представлен в приложении Б.

3.2.1.7 Выбор расходомера

Для определения расхода жидкости выбираем расходомер марки ALTI mass Type U (Япония). Данный расходомер полностью удовлетворяет параметрам рабочей системы и имеет точность измерения расхода жидкости, равную 0,1%.

3.2.1.8 Выбор манометров

В качестве манометра выбираем электронный цифровой манометр SPG2500 (Германия), который состоит из высокоточного двухканального блока с двумя датчиками. Паспортная точность данного прибора составляет 0,005%.

нефти запускается плунжерным насосом (6) в змеевик (8). При стабилизации показаний манометров (7) и (9), измеряется расход нефти на расходомере (10).

3.3.2 Описание работы установки

Принципиальная схема рабочей установки приведена в приложении А.

В начале работы устанавливаем необходимую температуру на терморегуляторе нагревателя термостата. Затем производится запуск вихревого насоса, который будет обеспечивать постоянное перемешивание теплоносителя. После чего производим предварительный прогрев термостата и ожидаем выхода на режим заданной температуры.

По достижению рабочего температурного режима, осуществляем загрузку сырья (нефти или растворителя) в конусный бак. После этого производим запуск циркуляционного насоса, осуществляющего постоянную циркуляцию сырья в баке, и плунжерного насоса высокого давления, который запустит поток сырья на циркуляцию в змеевик, являющегося имитацией модели промышленного трубопровода.

После термостатирования и стабилизации показаний манометров, установленных перед входом в змеевик и после выхода из него, измеряем расход нефти при заданном давлении на расходомере. Это значение принимается в качестве базового.

Производим дозирование испытуемой присадки в конусный бак. Если давление на входе в трубопровод меняется, то частота работы насоса регулируется до выравнивания давления с показаниями ранее заданного. Спустя определенное время после «развертывания» присадки в трубопроводе и стабилизации показаний манометров, производим замер расхода нефти с введенной присадкой при помощи расходомера и сравниваем полученные показания с базовыми.

3.3.3 Сравнительный анализ оборудования

3.3.3.1 Расходомер

Выбранный расходомер – ALTI_{mass} Type U (производитель – Oval Corporation, Япония). Представляет собой массовый кориолисовый расходомер с U-образной двухтрубной системой в корпусе из нержавеющей стали.

Принцип действия прибора основывается на физическом явлении – эффекте Кориолиса. Жидкость, втекающая в трубу, создает сопротивление движению вверх и давит на трубу вниз. Поглотив вертикальный импульс при движении вокруг изгиба трубы, жидкость, вытекающая из трубы, сопротивляется уменьшению вертикальной составляющей движения, толкая трубу вверх, что приводит к ее закручиванию. Когда труба движется вниз во время второй половины цикла колебания, она закручивается в противоположную сторону. Количество жидкости, проходящее через трубу в единицу времени, будет прямо пропорционально эффекту Кориолиса.

Прибор состоит из датчика и электронного преобразователя. Датчик представляет собой механическую конструкцию, включающую систему вибрирующих тонкостенных трубок, по которым течет измеряемая среда. Благодаря эффекту Кориолиса, смежные половинки трубок колеблются не синфазно, причем разность фаз оказывается пропорциональной массовому расходу среды. Плотность среды может быть определена по смещению собственной частоты колебаний трубок при заполнении их средой.

Из российских аналогов можно выделить такие приборы, как:

- ЭМИС-Масс 260 (производитель – ЗАО «Эмис», Россия). Применяется в АСУТП и системах коммерческого учета в различных отраслях промышленности (химической, нефтегазовой, пищевой, фармацевтической);
- ЭлМЕТРО ФЛОМАК (производитель – ГК ЭлМетро, Россия). Используется в нефтегазодобывающей, химической и пищевой

промышленности для определения дебета скважин, узлах учета расхода и системах дозирования расхода реагента.

Сравнение рабочих характеристик рассмотренных приборов приведено в таблице 4:

Таблица 4 – Сравнение рабочих характеристик расходомеров

Наименование параметра	ALTI _{mass} Type U (Япония)	ЭМИС-Масс 260 (Россия)	ЭлМетро ФЛОМАК (Россия)
Диаметр условного прохода (ДУ)	6, 10, 15, 25, 40, 50, 80, 100, 150	10, 15, 25, 40, 50, 80, 100, 150, 200	4,5/8, 10, 15, 25, 32, 50, 80/100
Рабочая среда	Жидкость, газ	Жидкость, газ	Жидкость, газ
Рабочее давление	До 9,4 МПа	До 6,4 МПа	До 4 МПа
Рабочая температура	-200 ... +200 °С	-50 ... +200 °С	-60 ... +100 °С
Температура окружающей среды	-40 ... +55 °С	-40 ... +70 °С	-40 ... +60 °С
Диапазон измеряемого расхода (зависит от диаметра условного прохода)	От 0,024 – 2,4 кг/час До 3420 – 342000 кг/час	От 5-1000 кг/час До 5000-1000000 кг/час	От 6-250 кг/час До 3000-150000 кг/час
Точность измерений расхода (по жидкости)	0,1, 0,2, 0,25, 0,5	0,1, 0,15, 0,25, 0,5	0,2, 0,25, 0,5
Диапазон измеряемой плотности	от 0,3 до 2 г/мл	от 0,6 до 3 г/мл	от 0,7 до 1,3 г/мл
Точность измерений плотности	±0,0005 г/мл	±0,001 г/мл	±0,002 г/мл
Стоимость	По запросу	От 117000 до 176000 рублей (зависит от ДУ)	По запросу

Из сравнительной таблицы видно, что выбранный расходомер превосходит отечественные аналоги по рабочему диапазону (давление, температура), в котором является возможным его использование, а также по точности измеряемой плотности жидкой среды.

3.3.3.2 Манометр

Выбранный манометр – СРG2500 (производитель – Wika, Германия). Представляет собой электронный цифровой модульный калибратор давления, который может включать в себя до двух встраиваемых высокоточных датчиков (в двух независимых каналах). Благодаря расширенной неопределенности измерений (не более 0,01% от верхнего предела измерений) является

образцовым прибором измерения давления 1-го разряда для лабораторий и промышленности.

Среди известных российских аналогов данного прибора можно выделить:

– МО-05 (производитель – ООО «Гидрогазкомплект», Россия).

Эталонный образцовый манометр для поверки и калибровки средств измерений. Выпускается в пяти различных исполнениях, отличающихся диапазоном измеряемого давления;

– МПМ-16 (производитель – ООО «МераПрибор», Россия). Используется в машиностроении и станкостроении, гидравлике и пневматике, насосах и компрессорах. Предназначен для работы в помещениях;

– ДМ-5001 (производитель – ОАО «Манотомь», Россия). Применяется на промышленных объектах нефтегазодобычи.

Сравнительный анализ рабочих характеристик вышеназванных приборов приведен в таблице 5:

Таблица 5 – Сравнение рабочих характеристик манометров

Наименование параметра	CPG2500 (Германия)	МО-05 (Россия)	МПМ-16 (Россия)	ДМ-5001 (Россия)
Рабочая среда	Жидкость, газ	Жидкость, газ	Жидкость, газ	Жидкость, газ
Рабочая температура	+15 ... +45 °С	-10 ... +50 °С (в зависимости от исполнения)	-40...+125 °С	-40...+50 °С
Тип измеряемого давления	Избыточное, абсолютное	Избыточное, абсолютное	Избыточное, абсолютное	Избыточное, абсолютное
Диапазон измерения давления	От -0,1...0 МПа До 0...70,0 МПа	От -0,1...0 МПа До 0...60,0 МПа (в 5 различных исполнениях)	От -0,1...0 МПа До 0...100,0 МПа	От -0,1...0 МПа До 0...160,0 МПа
Диапазон измерения абсолютного давления	От 0...0,035 МПа До 0...70,1 МПа	От 0...0,006 МПа До 0...60,1 МПа	От 0...0,035 МПа До 0...100,1 МПа	От 0...0,06 МПа До 0...160,1 МПа
Погрешность	±0,005 %	От ±0,1 %	От ±0,25 %	От ±0,5 %
Стоимость	От \$2350	От 26800 рублей за 1 модель	От 3600 рублей	От 5600 рублей

На основании данных, приведенных в таблице 5, можно сделать вывод, что замена выбранной модели манометра более дешевым отечественным

аналогом не является целесообразной, поскольку точность измерений данных приборов не будет удовлетворять условиям эксперимента.

3.3.4 Преимущества проектируемого стенда

Разработка предлагаемого стенда для лабораторных испытаний АТП позволит:

- определять наиболее эффективные АТП, способные изменять реологические свойства нефти и оценивать изменение их эффективности с течением времени;

- проводить сравнительный анализ АТП различных производителей в одинаковых условиях;

- отбирать для проведения опытно-промышленных испытаний только наиболее эффективные для данной нефти присадки, что позволит сократить время на внедрение АТП в технологический процесс;

- оценивать влияние различных факторов на работу АТП (температура сырья, химический состав) путем научных исследований.

3.4 Выводы

Проведен анализ литературных источников, изучены теоретические основы явления снижения гидродинамического сопротивления трению и основные гипотезы, описывающие его возникновение. Рассмотрены общие свойства АТП и классы веществ, которые могут быть использованы в качестве них.

Приведено обоснование выбранного направления, проведено сравнение свойств присадок, проходивших ОПИ (на примере Ванкорского месторождения).

Разработана проектная схема лабораторного стенда для тестирования АТП. Произведен выбор, расчет и сравнительный анализ оборудования,

необходимого для создания установки. Описан общий ход работы испытательного стенда и сформулированы основные преимущества его использования.

На основании разработанной схемы установки, выбранного для его создания оборудования и описания общего хода работы, составлен проект руководства по эксплуатации лабораторного стенда, представленный в приложении Г.

Спроектированная установка позволит проводить качественный сравнительный анализ, который даст возможность оценить эффективность работы присадки в сравнении с ее аналогами.

Стенд возможно также использовать для проведения входного контроля новых партий используемых присадок, при помощи сравнения эффективности их действия с результатами партии, успешно прошедшей опытно-промышленные испытания. В таком случае, эксперимент проводится на одинаковой модельной жидкости (например, гексан).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы были изучены теоретические основы режима движения жидкости в трубопроводе и механизм действия АТП. Также, были рассмотрены физико-химические свойства присадок и классы веществ, которые могут быть использованы для их создания.

Используя в качестве примера данные по свойствам присадок, применяемых на Ванкорском месторождении, был разработан проект универсального лабораторного стенда, который позволит оценивать эффективность действия различных АТП в одинаковых условиях и отбирать для проведения ОПИ на производство только наиболее эффективные для данной нефти реагенты. Для проекта установки был проведен подбор и сравнительный анализ выбранного оборудования, описан приблизительный режим работы стенда, а также составлен план руководства по его эксплуатации, что даст возможность оценивать влияние различных факторов на эффективность действия АТП.

Использование данного лабораторного стенда предусматривает проведение именно сравнительного анализа, который позволит дать качественную оценку эффективности работы присадки в сравнении с ее аналогами, а также провести входной контроль партии уже используемых присадок.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АТП – антитурбулентные присадки;
ММР – молекулярно-массовое распределение;
ОПИ – опытно-промышленные испытания;
ПА – полиакрилат;
ПАВ – поверхностно-активные вещества;
ПБ – полибутадиен;
ПГДА – полигексадецилакрилат;
ПГКА – полигидроксодикарбоксилат алюминия;
ПИБ – полиизобутилен;
ПИБА – полиизобутилакрилат;
ПИБМА – полиизобутилметакрилат;
ПВДМА – полиизодецилметакрилат;
ПИП – полиизопрен;
ПЛАМА – полилаурилметакрилат;
ПМА – полиметакрилат;
ПММА – полиметилметакрилат;
ПС – полистирол;
ПЭГА – поли-2-этилгексилакрилат;
САВ – смолисто-асфальтеновые вещества;
УВ – углеводород.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Белоусов, Ю.П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей: монография / Ю.П. Белоусов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 145 с.
- 2 Белоусов, Ю.П. Снижение сопротивления трения нефти и нефтепродуктов в трубопроводах полимерными добавками / Ю.П. Белоусов // Межмолекулярные взаимодействия и электронные процессы в жидкостях. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 32-45
- 3 Елашева, О.М. Исследование свойств нефти Ванкорского месторождения как потенциального сырья нефтеперерабатывающих заводов восточной площадки ОАО «НК «Роснефть» / О.М. Елашева, Т.А. Устинова, А.В. Румакин, Т.Ю. Анфиногенова // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2013. – Вып. 6. – С. 17-21.
- 4 Кобец, Г.Ф. Влияние физических параметров растворов на снижение сопротивления в турбулентном потоке / Г.Ф. Кобец, А.П. Матюхов // Инженерно-физический журнал. – 1973. – Том XXV. – № 6. – С. 1039–1044.
- 5 Муратова, В.И. Оценка влияния противотурбулентных присадок на гидравлическую эффективность нефтепродуктопроводов: дисс. канд. техн. наук: 25.00.19 / Муратова Вера Ивановна. – Уфа, 2014. – 149 с.
- 6 Противотурбулентная присадка ForeFTA [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.altayskiyhimprom.com/#!/forefta/c1vnm>.
- 7 Противотурбулентная присадка для нефти «Колтек ПТН 3170» [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://procoltech.ru/vypuskaemaya-produkciya-3/prisadki/protivoturbulentnaya-prisadka-dlya-nefti-koltek-ptn-3170>.
- 8 Рабинович Е.З. Гидравлика: учебник / Е.З. Рабинович. – Москва: Недра, 1980. – 278 с.
- 9 Химические решения ГК «Миррико» в области трубопроводного транспорта жидких углеводородов // Журнал «Нефтегазовая вертикаль». – 2014. – №10 – С. 32-35

10 Хуснуллин Р.Р. Композиционные составы для снижения гидравлического сопротивления в системах трубопроводного сбора и транспорта продукции нефтяных скважин: дисс. канд. техн. наук: 02.00.13 / Хуснуллин Руслан Ринатович. – Казань, 2015. – 148 с.

11 Holtmayer M.D. Study of oil soluble polymers as drag reducers // Amer. Chem. Soc. Polym. Prepr. – 1978. – V. 19, N 1. – P. 400-405

12 Hunston D.L. The drag Reduction properties of polysterene // Amer. Chem. Soc. Polym. Prepr. – 1975. – V. 16, N 2. – P. 582-587

13 Lee K.C., Zakin J.L., Drag reduction in hydrocarbon-aluminium soap polymer systems// AICHE. – 1973. – V. 69, N 130. – P. 45-51

14 Liaw G.C., Zakin J.L., Patterson G.K. Effect of molecular characteristics of polymer on drag reduction// AICHE. – 1971. – V. 391. – P. 391-397

15 Toms, B.A. Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers / B.A. Toms // In Proceedings of the 1st International Congress on Rheology. V. 2. North Holland, 1949. – P. 135–141.