

## ОТЗЫВ

официального оппонента Кутукова Сергея Евгеньевича  
на диссертационную работу Карпова Филиппа Алексеевича  
на тему «Оценка эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам за счет использования противотурбулентных присадок с учетом их деградации», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.8.5. – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

### **1 Актуальность темы диссертационной работы**

Применение противотурбулентных присадок (ПТП, DRA) для снижения гидродинамического сопротивления (Drag Reduction Technology) - одно из перспективных направлений развития методов управления процессом перекачки нефтей и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам. Специализированный завод «Транснефть-Синтез» в ОЭЗ «Алабуга» производит широкий спектр ПТП, позволяющий полностью удовлетворить потребности предприятий, транспортирующих жидкие углеводороды в РФ и ближнем зарубежье. DR-технология успешно применяется для увеличения пропускной способности магистральных трубопроводов в условиях ограничения максимального допустимого давления; снижения рабочего давления при проведении ремонтных работ в условиях обеспечения планового расхода на участке нефтепровода; существенно реже - для экономии энергоресурсов за счет отключения части насосных агрегатов НПС.

Существенным ограничением для применения ПТП на всех магистральных трубопроводах является стоимость агентов, поэтому количество подмешиваемого высокомолекулярного полимера минимизируется технико-экономическим обоснованием параметров DR-технологии в каждом конкретном случае. Основным фактором в расчетах выступает эффективность ПТП. Однако, значение эффективности зависит как от химического состава агента, так и от различных эксплуатационных факторов перекачки, получивших общее название «деградация». Деграционный эффект снижения эффективности ПТП наблюдается как в рабочих колесах центробежных насосов, так и в линейной части нефтепроводов, что обуславливает необходимость дозирочных пунктов на промежуточных насосных станциях. В отсутствии развитой теоретической базы для прогнозирования скорости деградации ПТП для оценки фактической эффективности для каждого агента требуется проводить весьма затратные опытно-промышленные испытания (ОПИ) на технологических участках магистральных трубопроводов.

Для расширения области рационального применения ПТП в трубопроводном транспорте жидких углеводородов за счет снижения издержек инжиниринга становится

актуальной задачей разработка аналитических методов, позволяющих априорно проводить оценку деградации в заданных гидродинамических условиях перекачки до проведения ОПИ; определить границы эффективного применения ПТП с заданными свойствами на конкретных трубопроводах; совершенствовать методологию расчета технологических режимов транспортировки нефти и нефтепродуктов с ПТП с учетом их деградации.

## **2 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Одним из ключевых аспектов диссертации является применение современных математических моделей турбулентного течения полимерных растворов. Для подтверждения адекватности уравнений и методик, разработанных автором, проводилось сравнение расчетных значений с данными опытно-промышленных испытаний противотурбулентных присадок на магистральных трубопроводах, а также с данными экспериментальных исследований других авторов. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертационной работе Карпова Ф.А., достигается за счет использования модели турбулентного течения конечно-растяжимого нелинейно-упругого тела (FENE-P), а также известных по литературным источникам положений гидродинамики и механохимии полимеров.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- первом туре III(XV) Международной научно-технической конференции молодежи ПАО «Транснефть», 2019 г.;
- втором туре III(XV) Международной научно-технической конференции молодежи ПАО «Транснефть», 2021 г.;
- 75-ой Международной молодежной научной конференции «НЕФТЬ И ГАЗ», 2021 г.;
- 73-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, 2022 г.;
- XVII Международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт-2022», 2022 г.

Выводы, представленные в диссертационной работе, являются обоснованными и подкреплены ссылками на 240 источников отечественной и зарубежной литературы.

## **3 Достоверность и новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций**

Полученные автором уравнения качественно согласуются с экспериментальными исследованиями других ученых, указывающими на то, что возникновение механической деструкции противотурбулентных присадок зависит от касательных напряжений трения, молярной массы полимера, концентрации ввода и характеристической вязкости. Результаты усовершенствованного автором прогнозного

гидравлического расчета с учетом путевой деградации противотурбулентной присадки подтверждаются данными мониторинга промышленных объектов магистрального транспорта нефтепродуктов.

Новизна исследований, изложенных в диссертационной работе, заключается в следующем:

1. Автором предпринята попытка аналитического описания процесса механической деструкции полимерных цепей в турбулентном потоке жидких углеводородов.

2. Предложена модификация существующей модели турбулентного течения жидких углеводородов с ПТП, основанной на решении системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу.

3. Введением в уравнение баланса напоров эмпирической функции изменения интегральной эффективности ПТП по длине технологического участка усовершенствована методика гидравлического расчета магистрального трубопровода с учетом путевой деградации.

#### **4 Оценка содержания диссертации, ее завершенность**

Содержание диссертационной работы полностью раскрывает поставленные цель и задачи и соответствует паспорту специальности 2.8.5. – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ». Текст диссертации написан грамотным научным языком, изложение является логичным и последовательным. Основные идеи и выводы диссертации в полной мере отражены в автореферате.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 15 печатных работах в том числе в 3 статьях - в издании из перечня ведущих рецензируемых научных журналов, включённых в перечень рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, из них 1 статья - в журнале, входящем в международные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web of Science). Научные исследования проведены в рамках научного проекта РФФИ № 20-38-90221.

#### **5 Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Практическая ценность результатов диссертационного исследования заключена в разработанных рекомендациях по соблюдению положений ОР-03.100.50-КТН-005-13 «Технологическое управление и контроль за работой магистральных нефтепроводов» в условиях возникновения путевой деградации ПТП, которая может стать причиной отклонения фактического давления в трубопроводе от расчетного более чем на 0,2 МПа. Предложено ввести поправку, учитывающую экспериментальные данные об изменении интегральной эффективности ПТП, в методику расчета распределения давления по длине магистрального трубопровода.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации заключается в обосновании аналитического метода оценки деградации свойств



агентов снижения гидравлического сопротивления в заданных гидродинамических условиях перекачки с использованием модели турбулентного течения конечно-растяжимого нелинейно-упругого тела (FENE-P), а также в определении границ эффективного применения ПТП с заданными свойствами: молекулярной массой и характеристической вязкостью.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию при разработке карт технологических режимов магистральных нефте- и продуктопроводов, а также для технико-экономического обоснования выбора ПТП.

## **7. Замечания и вопросы по работе**

1. Энергетический порог молекулярной деструкции обосновывается на уровне 120...130 кДж/моль, в то время как по справочным данным энергия молекулярных связей в углеводородах варьируется от 230 кДж/моль для меркаптанов, сульфидов и кислотных групп до 413...610 кДж/моль для парафинов, аренов и олефинов. Чем обусловлено снижение порога?

2. Модель распределения давления, анализируемая в главе 3, построена на формулах технологического расчета. Скорость деградации ПТП предложено определять решением обратной задачи по результатам мониторинга распределения давления по трассе действующего нефтепровода. В какой мере можно использовать результаты моделирования  $k$ - $\epsilon$  турбулентного течения разбавленных вязкоупругих растворов противотурбулентных присадок главы 2 для обоснования (прогнозирования) параметров технологического режима перекачки с ПТП в рамках технологической модели главы 3?

3. Как объяснить, что в выводах по главе 4 констатируется «выявлено снижение интегральной эффективности ПТП по длине нефтепродуктопровода для всех рассмотренных режимов перекачки», а превышение порогового значения напряжения сдвига  $\sim 9,2$  Па зафиксированы только на максимальном режиме 3-2-№3 ( $\tau = 11,41$  Па, таблица 4.3)?

Указанные недостатки и замечания не являются критическими, не оказывают влияния на общую положительную оценку диссертационной работы и могут быть рассмотрены как рекомендации к продолжению исследований в данном направлении.

## **8. Заключение**

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Оценка эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам за счет использования противотурбулентных присадок с учетом их деградации» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение новой научной задачи, новизна которая заключается в аналитическом описании границы возникновения механической деструкции

противотурбулентных присадок с заданными свойствами при турбулентном течении нефти и нефтепродуктов, имеющей существенное значение для развития отрасли трубопроводного транспорта, что соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней».

Автор диссертационной работы Карпов Филипп Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.5. – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ».

Официальный оппонент:

Кутуков Сергей Евгеньевич,  
главный научный сотрудник  
Управления математического  
моделирования и технологий  
трубопроводного транспорта,  
доктор технических наук  
по специальности  
25.00.19 – «Строительство и эксплуатация  
нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

«10» ноября 2023 г.



«Научно-технический центр трубопроводного транспорта» общества с  
ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт  
трубопроводного транспорта» (НТЦ ООО «НИИ Транснефть»)

Адрес: 450055, г. Уфа, Проспект Октября, д. 144/3

Телефон: 8 (495) 950-82-95 доп. 81-59

E-mail: KutukovSE@niitnn.transneft.ru

Я, Кутуков Сергей Евгеньевич, согласен на включение моих персональных  
данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их  
дальнейшую обработку

Подпись Кутукова Сергея Евгеньевича  
заверяю

«10» ноября 2023 г.



Алиса Байкова А.Р. главный специалист  
отдела управления персоналом