

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Земенковой Марии Юрьевны на диссертационную работу
Никиты Николаевича Голунова на тему «Развитие научно-методических
основ применения противотурбулентных присадок для транспорта нефти и
нефтепродуктов по магистральным трубопроводам», представленную на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.8.5 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ»
(технические науки)

1. Актуальность рассматриваемой проблемы

Диссертационная работа Никиты Николаевича Голунова посвящена технологии перекачки нефти и нефтепродуктов с использованием малых противотурбулентных присадок (ПТП), созданных на основе высокомолекулярных полимеров.

Проблема, решаемая соискателем в диссертации актуальна, исследование выполнено в соответствии с директивами «Энергетической Стратегии России до 2035 года» (от 9 июня 2020 г. № 1523-р), комплексом программ импортозамещения в нефтегазовой отрасли России, планами инновационного развития ведущих нефтяных компаний России, таких как ПАО «Транснефть» (например, приоритетные технологии и направления технологического развития ПАО «Транснефть»: п. 3 - усиление импортозамещения и развитие российского производства противотурбулентных присадок «Программы инновационного развития ПАО «Транснефть» на период 2022-2026 годы»), НК «Роснефть», ПАО «Газпромнефть», НК «Лукойл» и других компаний.

В производственной практике известно, что противотурбулентные присадки, небольших количеств которых достаточно для существенного уменьшения гидравлического сопротивления турбулентного течения жидкости, движущейся в трубопроводе, используют, в основном, для двух целей: для увеличения пропускной способности магистрального трубопровода при использовании установленного на нем оборудования, или для снижения давления в трубопроводе, при сохранении его пропускной способности.

Несмотря на то, что идея использования малых противотурбулентных присадок возникла достаточно давно, практическое ее использования для трубопроводного транспорта углеводородов, началось сравнительно недавно.

В настоящее время можно выделить три основных фактора, по которым проблема исследования стала особенно актуальной. Во-первых, противотурбулентные присадки в промышленных объемах начали производить в России, в то время как ранее они закупались у зарубежных фирм, так что теперь их стоимость значительно снизилась. Во-вторых, на первый план вышли вопросы экономии электроэнергии на транспортировку миллионов тонн нефти и нефтепродуктов по таким протяженным

трубопроводам, как в России. В-третьих, действующие трубопроводы непрерывно стареют, поэтому для поддержания надежности их эксплуатации требуются методы снижения рабочих давлений при сохранении пропускной способности.

Отличительная особенность исследований состоит в том, что они посвящены технологическим вопросам транспортировки нефти или нефтепродуктов по трубопроводам, в то время как вопросы физико-химические свойства самих присадок, технологии их производства и механики взаимодействия с турбулентным течением в работе не рассматриваются. Диссертация посвящена оптимизации технологических режимов перекачки нефти или нефтепродуктов с противотурбулентными присадками при известных свойствах присадок.

Если при этом учесть, что среди множества известных исследований, посвященных использованию ПТП, доля работ, в которых представлены научно-методические основы их применения в системе взаимосвязанных участков магистральных трубопроводов, относительно невелика, то актуальность рассматриваемой работы представляется несомненной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Результаты работы получены автором по итогам теоретического и технологического обоснования моделей процессов и явлений, физико-математического моделирования и экспериментальных исследований, в т.ч. на базе испытательного стенда.

Теоретическое обоснование выполнено с использованием положений классической гидромеханики, физики, методологии проведения научных исследований, современных средств математического моделирования и подтверждено результатами экспериментальных исследований.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы не вызывает сомнений и заключается в следующем:

- предложена и научно обоснована концепция классификации ПТП в зависимости от их механизма действия на турбулентный поток;
- разработана модель турбулентного течения жидкости с ПТП с применением оригинального подхода по определению граничных (краевых) условий теории Тейлора, на основании которой предложено новое обобщенное уравнение сопротивления в изотермическом трубопроводе с шероховатыми стенками;
- разработана методика расчета для реальных условий транспорта

по магистральным трубопроводам гидравлических свойств ПТП, в т.ч. разработана методика определения универсальных констант обобщенной теории Т. фон Кармана для расчета коэффициента гидравлического сопротивления по результатам обработки экспериментальных данных эффективности ПТП на исследовательских трубных стендах, в ротационных вискозиметрах и дисковых реометрах;

– предложена методика гидравлического расчета стационарных режимов эксплуатации технологических участков (ТУ) магистральных трубопроводов при использовании ПТП с целью оптимизации режимов перекачки с учетом технологических параметров ТУ и определения оптимальных концентраций ПТП.

– разработана методика расчета квазистационарных режимов с целью сокращения затрат электроэнергии на перекачку нефти и нефтепродуктов по ТУ магистральных трубопроводов на основе ограниченного применения ПТП.

– установлено минимальное значение концентрации ПТП в пробке для сокращения смеси, образующейся при последовательной перекачке в зоне контакта партий разносортных нефтепродуктов.

Известно, что косвенно на необходимость разделения противотурбулентных присадок на присадки поверхностного и объемного действия указывалось и ранее еще в работах крупнейшего советского гидромеханика академика Леонида Ивановича Седова и его учеников, примерно в 70-80-х годах прошлого века. В этих работах отмечалось, что малые высокомолекулярные полимерные присадки к воде (полиакриламид, гуаровая смола и др.) действуют на турбулентное течение иначе, чем некоторые другие виды присадок, созданные, например, на основе поверхностно-активных веществ, асбестовых нитей и др. Однако необходимости такого разделения и критериев разделения не существовало. Присадки поверхностного действия не изменяют такой характерный параметр турбулентного течения, как константа Кармана, в то время как присадки объемного действия изменяют ее, причем весьма существенно. Это связано с различием механизмов взаимодействия присадок с турбулентной структурой течения. Таким образом, новая научно обоснованная классификация, предложенная автором диссертации, имеет важное и принципиальное значение.

Новизной обладает теоретический подход для оценки коэффициента λ гидравлического сопротивления при наличии в потоке жидкости противотурбулентной присадки с произвольной концентрацией. В отличие от многих авторов, предлагающих эмпирические формулы для расчета этого важного коэффициента гидравлики трубопроводного транспорта, полученные путем обработки результатов либо лабораторных, либо промышленных экспериментов, автор диссертации использует теорию - известную модель Т. Кармана для построения универсального уравнения гидравлического сопротивления. Конечно, такое уравнение было известно в

гидромеханике давно и восходит своими корнями к фундаментальным работам Л. Прандтля, Т. Кармана и других классиков гидромеханики и гидравлики. В работах М. В. Лурье, Н. А. Подобы, Н. А. Романовой в конце прошлого столетия уравнение получило обобщение на случай течения в каналах с подвижными стенками. Однако автор диссертации в своем обобщении продвинулся дальше, предложив, в частности, такое обобщение, которое учитывает не только режим турбулентного течения, но и состояние внутренней поверхности трубопровода (ее относительную эквивалентную шероховатость), и на этой основе построил обобщенные на случай противотурбулентных присадок «графики Никурадзе». Автором получена стройная теория, учитывающая множество факторов, позволившая *увеличить* области гидравлически гладких труб при внесении в поток жидкости противотурбулентной присадки.

Одной из важнейших комплексных задач является обеспечение соответствия результатов экспериментальных исследований при расчетах режимов для реальных объектов, создание универсальных методик и моделей. Соискателем научно обоснован метод переноса стендовых испытаний жидкости, обработанной присадками, для реальных трубопроводов. Автор показал сложность моделирования, и подчеркнув факт, что в большинстве случаев такие эксперименты не обеспечивают подобия течения, особенно в дисковых реометрах, течениям в трубах большого диаметра, тем не менее разработал методику для оптимизации режимов на реальных трубопроводах с использованием эмпирических коэффициентов гидравлического сопротивления результаты, полученных по итогам стендовых испытаний и определения констант модели. Соискатель разработал новый метод расчета турбулентных течений жидкости в плоском зазоре между вращающимися дисками (для дисковых реометров), а также разработал теорию турбулентного течения жидкости с противотурбулентной присадкой между соосными вращающимися цилиндрами (для ротационных реометров) с точностью, достаточной для инженерных расчетов. Для этой цели автор использовал теорию Кармана, дополненную новыми краевыми условиями на поверхностях, ограничивающих течение.

Новизной и практической ценностью, по мнению оппонента, обладает комплекс теоретических результатов автора, относящихся к гидравлическим расчетам магистральных нефтепроводов, транспортирующим товарную нефть или нефтепродукт с противотурбулентной присадкой. Соискатель обобщил практически все известные методы расчета (как приближенные, основанные на решении систем алгебраических уравнений баланса напоров), так и более точные (основанные на итерационных алгоритмах) на случай реальных трубопроводов с использованием противотурбулентных присадок. При моделировании учтены технологические особенности головной и промежуточных насосных станций, установленного на них комплекса насосного оборудования, наличия или отсутствия самотечных участков и т.д. на случаи перекачки. Обобщение логично и последовательно, базируется на

верифицированной гидравлической основе, развитую теорию и методы расчета можно считать достоверными.

Новыми следует считать также результаты диссертации, относящиеся к последовательной перекачке моторных топлив с противотурбулентными присадками, сокращающими объем образующейся смеси. Если в ранних публикациях автор показал обнаруженный и экспериментально доказанный им эффект (защищенный патентом РФ), то в последних исследованиях разработал все необходимые теоретические аспекты для использования этого эффекта в практике промышленных перекачек имеющий важное значение для обеспечения качества технологии транспорта.

Достоверность полученных результатов и теоретических выводов обеспечена результатами экспериментальной проверки, корректным планированием экспериментов, верификацией и апробацией моделей, корректным численным моделированием процессов и явлений. Анализ математических уравнений и формул, полученных классическими методами гидромеханики, не вызывает сомнений, обоснованными и достоверны.

Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на региональных, всероссийских и международных научных конференциях по профилю диссертации, опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

4. Значимость полученных результатов для науки и практики

Автор получил множество новых, ранее неизвестных результатов, важных как для развития теории трубопроводного транспорта в целом, так и для их конкретного практического применения. По мнению оппонента, выполненная работа заслуживает весьма высокой положительной оценки.

Разработанные соискателем теоретические положения, комплекс математических моделей и методик представляет собой развитие научно-методических основ оптимизации параметров режимов транспорта нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам с применением противотурбулентных присадок.

Предложенные методы оптимизации гидравлических режимов эксплуатации могут быть использованы проектными организациями для обоснования решений по модернизации, реконструкции и перевооружению объектов магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов для повышения энергоэффективности и технологии транспорта в целом. Представленный соискателем методологический комплекс и программное обеспечение могут быть использованы научно-исследовательскими и производственными предприятиями для обоснования параметров режимов транспорта нефти и нефтепродуктов с использованием специальных методов транспорта. Важным аспектом является внедрение результатов диссертационной работы на объектах ООО «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

5. Публикации, отражающие основное содержание работы

Результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в более чем в 40 изданиях, из них - 26 в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, в том числе 3 – в базе Scopus, а также 2 – в переводных журналах на английском языке.

Материалы научных публикаций содержат результаты собственных исследований соискателя, научно обоснованные решения поставленных задач. Результаты исследований написаны качественным литературным стилем, позволяют получить представление о результатах работы, оценить качество, отражают результаты системных многолетних исследований соискателя.

6. Общая оценка содержания диссертации, ее завершенность

Диссертационное исследование Н.Н.Голунова представляет собой цельную и завершенную научную работу, направленную на совершенствование сравнительно новой технологии транспортировки нефти и нефтепродуктов с противотурбулентными присадками.

Данная технология используется как для увеличения пропускной способности трубопровода при установленном на трубопроводе оборудовании, так и для уменьшения нагрузок на трубопроводы, находящиеся в эксплуатации уже длительное время, с поддержанием прежней пропускной способности. Отличительной чертой выполненного исследования является его максимальная адаптация к условиям эксплуатации реальных нефте- и нефтепродуктопроводов.

Диссертация и автореферат изложен грамотно, научным специализированным стилем, последовательно, понятно и логично, поставленные задачи сопровождаются предварительным анализом, положения аргументированы, ход решения поставленных задач подробно описан, выводы обоснованы. Результаты численного моделирования и экспериментальных исследований сопровождаются примерами и иллюстрационными схемами, в том числе профилями трассы с линиями гидравлических уклонов. Автором выполнен достаточно глубокий анализ ретроспективных и современных методов моделирования гидравлических режимов с присадками, в том числе работ зарубежных авторов, нормативно-технической базы, производственной практики. Соискателем реализован комплексный системный подход к решению поставленных задач.

Основные научные положения и результаты исследования компетентно отражены в виде методик, моделей, выводов и заключаются в следующих научных достижениях, подробно изложенных в диссертации.

В работе научно обосновано, что все известные противотурбулентные присадки должны быть разделены на два типа: присадки поверхностного действия и присадки объемного действия, поскольку механизм взаимодействия этих типов присадок с турбулентным течением жидкости

различен. Новая классификация важна для развития теории расчета гидравлических режимов жидких углеводородных сред с присадками.

Соискателем доказано, в качестве основы для определения коэффициента гидравлического сопротивления турбулентного течения жидкости с присадками целесообразно использовать феноменологическую теорию Т. Кармана, обобщив ее на случай, когда в жидкость введена малая противотурбулентная присадка. Суть такого обобщения состоит в том, что ряд инвариантных коэффициентов в модели Кармана, бывших ранее постоянными, при введении в жидкость противотурбулентной присадки становятся зависящими от ее концентрации. Причем если присадки поверхностного действия не изменяют константу Кармана, то присадки объемного действия изменяют ее, притом весьма существенно. Кроме того, показано, что к модели Кармана необходимо добавить дополнительные краевые условия, отражающие взаимодействие турбулентного течения с внутренней поверхностью трубопровода.

Доказано, что использование обобщенной модели Т. Кармана позволяет более правильно интерпретировать результаты экспериментальных исследований гидравлической эффективности присадок, выполненных, прежде всего, на ротационных приборах, в том числе на дисковых реометрах.

Предложено использовать результаты экспериментальных исследований гидравлической эффективности присадок в трубных стендах и на ротационных приборах: не столько для непосредственного переноса получаемых данных на промышленные трубопроводы (зачастую это просто невозможно сделать из-за отсутствия подобия между течением в установке и в промышленном трубопроводе), сколько для выявления инвариантных коэффициентов используемой модели, необходимых для оценки и прогноза гидравлической эффективности присадки в реальном трубопроводе.

Выполнено обобщение всех известных алгоритмов и методов расчета стационарной работы технологических участков нефтепровода на случай использования противотурбулентных присадок, причем сделанные обобщения доводятся до численной реализации и практических расчетов.

Соискателем показано, что использованию противотурбулентных присадок в технологических участках нефтепровода (то есть участков, ведущих перекачку в режиме «из насоса - в насос» и потому гидравлически связанных друг с другом) должно предшествовать составление карт эксплуатационных режимов и оптимизация распределения присадки по перегонам. В диссертации разработаны не только инструменты (теория, алгоритм и компьютерная программа) для выполнения такой оптимизации, но и показаны ее результаты как в общем виде, так и на конкретных примерах. Экспериментальными и теоретическими методами доказано, что противотурбулентные присадки, введенные в область контакта партий бензинов и дизельных топлив, способны уменьшить объем и длину смеси этих нефтепродуктов при их последовательной перекачке; предложен метод расчета последовательной перекачки нефтепродуктопроводов с

противотурбулентной присадкой, уменьшающей смесеобразование. Значимо, что автор диссертации занимался рассматриваемой проблемой на протяжении почти 20 лет, то есть практически всего периода своей научной деятельности, создав добротную теоретическую и экспериментальную базу.

Важно отметить не только высокий уровень физико-математической постановки исследования, но и производственной проработки: в итоге соискателем разработан методологический комплекс, включающий универсальный алгоритм, оригинальные модели и методики оптимизации режимов технологических участков различной сложности с произвольными концентрациями ПТП на перегонах, учитывающий не только гидравлические особенности, но и экономические аспекты и технологические риски. Приведены примеры результатов моделирования режимов, представленные на профилях трассы реального нефтепровода, что особенно важно для внедрения методологического обеспечения в производственную практику.

Считаю, что диссертация Голунова Н.Н. является завершенным научно-квалификационным трудом, по оформлению, содержанию и качеству материалов отвечает требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, паспорту научной специальности 2.8.5 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ». Автореферат соответствует диссертационной работе, достаточно полно отражает основное содержание научного исследования.

7. Замечания и рекомендации по диссертационной работе

По диссертации и автореферату имеются следующие замечания:

1) исследования посвящены, в основном, присадкам поверхностного действия, в то время как присадки объемного действия в диссертации практически не рассматриваются, стоило бы показать, как для них определяются коэффициенты модели Кармана, прежде всего константа Кармана;

2) мало внимания уделено вопросам деструкции противотурбулентных присадок, необходимых для эксплуатации участков трубопроводов повышенной протяженности;

3) результаты целесообразно было бы реализовать в виде методики, руководящего документа или стандарта организации для использования на реальных объектах транспорта нефти и нефтепродуктов;

4) материалы работы приобрели бы особую ценность при подготовке и публикации в виде учебного пособия и монографии для реализации в учебном процессе профильных специалистов, аспирантов и молодых ученых.

Указанные замечания не снижают положительной оценки представленной диссертации в целом, носят пожелательный характер и не имеют принципиального значения.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, обладает научной новизной и практической ценностью, содержит материалы исследований, свидетельствующие о корректном решении научной проблемы.

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Считаю, что диссертация Никиты Николаевича Голунова «Развитие научно-методических основ применения противотурбулентных присадок для транспорта нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-технической проблемы развития научно-методических основ и создания методологического обеспечения оптимизации и планирования энергоэффективных технологических режимов трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов с противотурбулентными присадками, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики и нефтяной отрасли страны.

Диссертация соответствует критериям, установленным в п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842; с изм. и доп. от 26 октября 2023г.), требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Никита Николаевич Голунов, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.5 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» (технические науки).

Я, Земенкова Мария Юрьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов» Института транспорта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», доктор технических наук по специальности 05.26.02 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях (нефтегазовая промышленность) (технические науки); доцент



М.Ю. Земенкова
Уполномоченный документовед общего отдела ТИУ
22.01.2024

Земенкова Мария Юрьевна
«22» января 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»
625000, Уральский федеральный округ, Тюменская область, г. Тюмень,
ул. Володарского, 38
Телефоны: +7 (3452) 28-36-70, факс: +7(3452) 28-36-60
Электронная почта: zemenkovamj@tyuiu.ru, muzemenkova@mail.ru