

Развитие подходов к решению задач обеспечения прочности, ресурса и безопасности магистрального нефтепроводного транспорта



Н.А. Махутов,
чл.-кор. РАН, д-р техн. наук,
проф., гл. науч. сотрудник,
kei51@mail.ru



Y.M. Фридлянд,
ген. директор



A.A. Распопов,
канд. техн. наук, зам.
директора центра



M.V. Лисанов,
д-р техн. наук, директор
центра анализа риска

ООО «НИИ Транснефть», Москва, Россия

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия

Вызовы, с которыми сталкивается мировая нефтегазовая отрасль, побуждают ПАО «Транснефть», имеющее крупнейшую мировую трубопроводную систему транспортировки нефти и нефтепродуктов, к инновационному развитию в целях повышения эффективности производственных процессов, безопасности, надежности и долговечности оборудования, экономии ресурсов, минимизации потерь и недопущения ущерба окружающей среде. Достижение поставленных целей требует постоянного совершенствования и тщательной научной проработки технических решений, разработанных математических и физических моделей процессов, проходящих при транспортировке нефти и нефтепродуктов. Разработка и реализация научных подходов в достижении вышеуказанных целей возложены на ООО «НИИ Транснефть», которое является головным научно-исследовательским центром компании.

Последние директивные государственные решения о применении при анализе промышленной

безопасности риск-ориентированных подходов являются базовыми для создания и использования унифицированной методологии оценки и обеспечения функционирования потенциально опасных промышленных объектов (включая магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов).

В статье представлены подходы к решению комплексных проблем прочности, ресурса и безопасности объектов трубопроводного транспорта, реализуемые ООО «НИИ Транснефть». Рассмотрена эволюция научных подходов к решению прикладных задач обеспечения безопасности магистральных трубопроводов. Предложены направления совершенствования методов анализа при решении вышеуказанных задач. В рамках взаимодействия ПАО «Транснефть», Российской академии наук, Минобрнауки России и Ростехнадзора на период до 2025 г. предложены перспективные организационные, научно-методические, экспертные и надзорные мероприятия.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, прочность, ресурс, безопасность, риск, расчеты, нормы, надзор, регулирование, базы знаний, банки данных, отказы, аварии, катастрофы.

DOI: 10.24000/0409-2961-2019-9-7-14

Развитие трубопроводного транспорта и его современная проблематика

История нефтепроводов России насчитывает более полутора веков. Создание трубопроводных систем для перекачки нефти предложено в 1860-е годы Д.И. Менделеевым, а уже с 1878 г. на Апшеронском п-ве началась эксплуатация первого трубопровода протяженностью 10 км. В конце XIX в. В.Г. Шухо-

вым разработаны теория и комплекс практических решений для создания и функционирования нефтепроводов. Общая длина нефтепроводов России в конце первого десятилетия XX в. составила уже более 800 км, а второго — около 1500 км.

В 1930–1950-е годы (период советской индустриализации и мощного развития топливно-энергетического комплекса) почти одна треть

добываемой в стране нефти транспортировалась по трубопроводам общей длиной более 20 тыс. км. Перенос в середине XX в. основной добычи нефти за Волгу и Урал в Западную Сибирь характеризовался существенным развитием нефтепроводного транспорта.

Современный российский магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов ПАО «Транснефть» — крупнейшая мировая трубопроводная система протяженностью около 70 тыс. км, имеющая 24 млн м³ резервуарных емкостей и 500 насосных перекачивающих станций (рис. 1).

необходимость обеспечения возрастающих требований к экономической эффективности, своевременности поставок нефти и нефтепродуктов, промышленной и экологической безопасности.

Надлежащее решение этих проблем возможно при соответствующем научном обосновании и сопровождении реализуемых на уровне государства и отрасли проектных, конструкторских, технологических, эксплуатационных и надзорных решений. В рамках основных направлений деятельности ПАО «Транснефть» и взаимодействия компании с Минэнерго России, Ростехнадзором, Российской акаде-



▲ Рис. 1. Система магистральных трубопроводов ПАО «Транснефть»

▲ Fig. 1. The system of PAO Transneft trunk pipelines

Основные проблемы нефтепроводного транспорта в настоящее время:

срок службы более 50 % линейной части магистральных нефтепроводов и 65 % магистральных нефтепродуктопроводов составляет более 30 лет, некоторые трубопроводы эксплуатируются более 50 лет;

необходимый ежегодный объем поэтапной замены отслуживших свой срок участков нефтетранспортных магистралей составляет 1200–1400 км;

постоянное увеличение объемов диагностических и ремонтно-восстановительных работ;

дальнейшее сохранение тенденций повышения эксплуатационных нагрузок, параметров масштаба производственных мощностей и увеличения протяженности трубопроводных систем;

строительство и эксплуатация магистральных трубопроводов в зонах сложных природно-климатических условий;

мией наук (РАН), функции головного отраслевого научного центра возложены на Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»), который создан в 2009 г.

Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы ООО «НИИ Транснефть» охватывают широкий спектр вопросов по разработке новых технологий, оборудования, материалов в области проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта магистральных трубопроводов, что позволяет институту принимать активное участие в решении государственных и отраслевых задач своевременной, надежной, безопасной поставки нефти и нефтепродуктов отечественным и зарубежным заказчикам.

Основы государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу [1] имеют определяющее значение в постановке проблем и решении задач в области промышленной без-

опасности нефтепроводного транспорта. Реализация этих основ, согласно распоряжению Правительства Российской Федерации [2], неразрывно связана с формированием междисциплинарных, межотраслевых и отраслевых программ и планов по проведению комплексных научных исследований и практическим разработкам по проблемам прочности, ресурса и безопасности промышленных систем и объектов, к основным из которых относятся:

- разработка методик определения и обеспечения надежности на всех этапах жизненного цикла трубопроводной системы (формирование методологии системного анализа состояния объектов трубопроводных систем, разработка и установление критериев надежности, оценка остаточного ресурса трубопроводов в различных природно-климатических условиях и т.д.);

- совершенствование системы диагностики с определением остаточного ресурса трубопроводов;

- научное обоснование требований к металлу труб и сварным соединениям;

- разработка новых технологий и техники для строительства, ремонта и реконструкции;

- совершенствование проектных решений;

- разработка эффективных способов защиты труб от коррозии, видов изоляционных материалов и ингибиторов; развитие способов электрохимической защиты и системы коррозионного мониторинга.

Основа комплексной оценки безопасности опасных производственных объектов — системный анализ их состояния, выполнение которого позволяют обеспечить современные научные методы, в том числе с применением риск-ориентированных подходов. Разработка унифицированной методологии оценки и обеспечения безопасного функционирования объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов при общей координации работ Ростехнадзором ведется совместными усилиями академических, ведущих отраслевых институтов и других научных центров страны.

Эволюция научных подходов к решению прикладных задач обеспечения безопасности магистральных трубопроводов

На первых этапах (конец XIX — начало XX в.) развития трубопроводного транспорта нефти основным параметром его эффективного применения было обеспечение заданной производительности Q :

$$Q = F\{p, v, D\}, \quad (1)$$

где p — давление (или перепад давления) на входе и выходе участка трубопровода; v — средняя скорость движения нефти; D — диаметр трубопровода.

Однако возникновение разрушений первых трубопроводов привело во втором десятилетии XX в.

к необходимости расчетно-экспериментального определения и нормирования их прочности с использованием положений теории тонкостенных оболочек и первой гипотезы классической теории прочности:

$$\sigma = \frac{pD}{2\delta} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{оп}}{n_\sigma}, \quad (2)$$

где σ — расчетное номинальное кольцевое напряжение в стенке, совпадающее с первым главным напряжением; δ — толщина стенки трубопровода; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение; $\sigma_{оп}$ — опасное напряжение (предел прочности); n_σ — запас прочности, $2 \leq n_\sigma \leq 4$.

В 1940–1950-е годы с началом массового проектирования, строительства и эксплуатации нефтепроводов в различных регионах страны усложнение конфигурации трубопроводных систем, применение новых сталей и технологий повлекли необходимость усовершенствования условия прочности (1), которое было развито для применения в основных расчетах по предельным состояниям (по разрушению и образованию пластических деформаций) [3–5]:

$$\sigma = \frac{pD}{2\delta} \leq [\sigma] = \frac{\{\sigma_B, \sigma_T\}m}{nK_1K_H}, \quad (3)$$

где σ_B — предел прочности стали; σ_T — предел текучести стали; m — коэффициент условий работы, $0,6 \leq m \leq 0,9$; n — коэффициент надежности по нагрузке, $1,1 \leq n \leq 1,15$; K_1 — коэффициент надежности по материалу, $1,34 \leq K_1 \leq 1,55$; K_H — коэффициент надежности по назначению, $1 \leq K_H \leq 1,05$.

Возникновение в зонах низких климатических температур (до -60 °C) наиболее опасных хрупких разрушений трубопроводов, изготовленных в 1930–1950-е годы из нелегированных углеродистых хладноломких сталей, потребовало введения новых требований к трубным сталям и критериев оценки их свойств — ударной вязкости (на образцах Менаже, затем на образцах Шарпи), как при комнатной температуре (20 °C), так и при пониженных температурах (-20 ; -40 ; -60 °C) хладостойкость трубопроводов связывалась с установлением критических температур перехода из вязких состояний в хрупкие (по виду излома с 50%-ной долей хрупкого излома от всей поверхности излома).

Усовершенствование в 1960–1980-е годы методик лабораторных и натурных исследований, аналитических и численных расчетов, методов и средств диагностики магистральных трубопроводов, а также результаты детального анализа их эксплуатационных повреждений и разрушений явились основой для перехода от выполнения анализа прочности конструкций трубопроводов в номинальных напряжениях σ по (2) и (3) к их поверочному анализу в максимальных локальных напряжениях:

$$\sigma_{\max} = F_{\max}\{\sigma, \delta_{\min}, D_{\max}, p_{\max}\}, \quad (4)$$

где δ_{\min} — минимальная толщина стенки в зонах коррозионных и механических повреждений; D_{\max} — местный увеличенный диаметр за счет потери формы поперечного сечения (в зонах гофров, перегрузок); p_{\max} — местное максимальное эксплуатационное давление (с учетом гидростатических эффектов по профилю трассы, срабатывания систем регулирования, гидроударов, сейсмических и ветровых воздействий и т.д.).

При введении (4) в расчетном выражении (2) допускались возможное снижение запасов и изменение расчетных коэффициентов в выражении (3).

С дополнительным учетом концентрации напряжений и остаточных технологических напряжений σ_0 сумма расчетных напряжений могла оказываться выше значений предела текучести σ_T и даже прочности σ_B материала трубопровода:

$$\sigma_{\max k} = \alpha_{\sigma}(\sigma_{\max} + \sigma_0) \geq \{\sigma_T, \sigma_B\}, \quad (5)$$

где α_{σ} — теоретический коэффициент концентрации.

Это означает, что в области сварных соединений, дефектов и других зонах концентрации напряжений при реальных условиях работы трубопроводов возникают локальные пластические деформации $e_{\max k}$:

$$e_T \leq e_{\max k} \leq e_k. \quad (6)$$

В соответствии с формой кривой деформирования трубных сталей (рис. 2, здесь 1 — в условных координатах; 2 — в истинных координатах) при $\sigma > \sigma_T$ небольшие изменения в сторону увеличения напряжений $\Delta\sigma$ приводили к существенному росту деформаций Δe . Поэтому традиционные расчеты прочности в номинальных напряжениях по выражениям (1)–(3) не отражали в явном виде процессы пластического деформирования.

В связи этим с конца XX в. на основе результатов совместных разработок ОАО «АК «Транснефть» и РАН впервые поверочные расчеты по силовым критериям в форме (2)–(5) дополнены поверочными расчетами по допускаемым деформациям [e]:

$$e_{\max k} \leq [e] = \frac{e_k}{n_e};$$

$$e_{\max k} = F_{\sigma}\{\sigma_{\max k}, m\}, \quad (7)$$

где n_e — запас по деформациям, $1 \leq n_e \leq n_{\sigma}$; m — показатель упрочнения материала в упругопластической области, определяемый по кривой деформирования при $\sigma > \sigma_T$ (см. рис. 2), $m = d\sigma/de$; $0 \leq m \leq 0,3$.

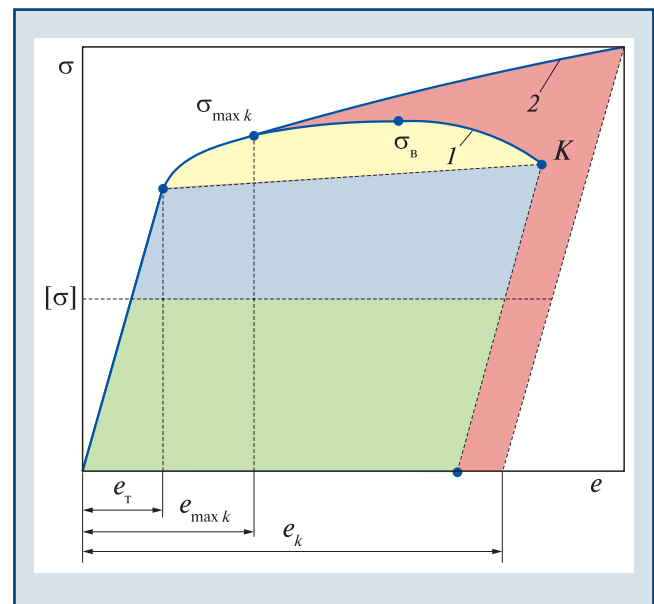
Истинная разрушающая деформация e_k определяется при испытаниях стандартных образцов на растяжение как деформация в шейке разрушенного образца:

$$e_k = l_n \frac{100}{100 - \psi_k}, \quad (8)$$

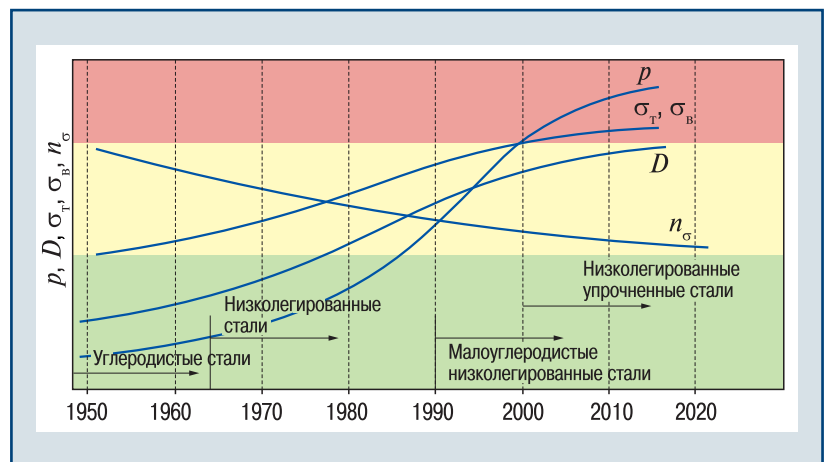
где ψ_k — относительное сужение в шейке, %.

Аналогичный подход к анализу прочности ответственных конструкций реализован и для объектов атомной энергетики [4, 6].

В целом к настоящему времени (рис. 3) комплексная реализация научно-методических и практических мероприятий в магистральном нефтепроводном транспорте способствовала достижению установленных значений базовых параметров прочности и пластичности, входящих в систему выражений (1)–(8).



▲ Рис. 2. Диаграмма деформирования трубных сталей
▲ Fig. 2. Diagram of pipe steels deformation



▲ Рис. 3. Основные закономерности изменения расчетных параметров трубопроводов
▲ Fig. 3. Main regularity of change in the pipelines design parameters

Расчетные показатели прочности $\sigma_{оп}$ в (2) и пластичности e_k в (7), (8) зависят от времени эксплуатации τ , числа циклов нагружения N , температуры t , уровня дефектности (размеров трещин l), агрессивности рабочих сред и окружающей среды. Это обуславливает кинетическую постановку задач оценки прочности и долговечности:

$$\{\sigma_{оп}, e_k\} = F_k\{\tau, N, t, l\}. \quad (9)$$

Функция F_k устанавливается методами линейной и нелинейной механики деформирования и разрушения [3, 4]. Выражение (9) определяет ресурс и трещиностойкость.

Совершенствование методов анализа при решении задач обеспечения безопасности магистральных трубопроводов

В соответствии со стратегией национальной безопасности [7], основами государственной политики в области промышленной безопасности [1, 2], федеральным законом о промышленной безопасности опасных производственных объектов [8] ключевым требованием к нефтепроводному транспорту на дальнейшую перспективу становится обеспечение его функционирования с учетом результатов анализа безопасности по критериям рисков $R(\tau)$ на данной стадии τ (год) жизненного цикла [4, 5, 9–11]:

$$R(\tau) = F_R\{P(\tau), U(\tau)\} \leq [R(\tau)] = \frac{R_k(\tau)}{n_R}, \quad (10)$$

где $P(\tau)$ — вероятность (частота) возникновения неблагоприятных событий (отказы, аварии, катастрофы); $U(\tau)$ — ущерб (прямой и (или) косвенный экономический, экологический, социальный); $[R(\tau)]$ — допустимый (приемлемый) риск; $R_k(\tau)$ — критический (неприемлемый) риск; n_R — запас по рискам, $1 \leq n_R \leq 100$.

Запас n_R можно рассматривать как корректирующий показатель, учитывающий значимость риска (например, как риска нанесения вреда жизни и здоровью людей, риска разрушения объектов инфраструктуры, риска повреждения природной среды).

В отечественных и зарубежных нормативных документах в качестве показателя рисков $R(\tau)$ используют частоту (вероятность) возникновения аварий и катастроф $P(\tau)$ (например, в атомной энергетике) или частоту (вероятность) гибели людей (например, в соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»). В этом случае размерность данного параметра определяется как 1/год (год⁻¹).

Параметры рисков $R(\tau)$, $[R(\tau)]$, $R_k(\tau)$ в наиболее общем интегральном выражении, учитывающем их формирование и проявление в виде ущербов $U(\tau)$ в техногенной, природной и антропогенной сферах,

представляются в экономическом формате с размерностью руб/год.

Параметры $R(\tau)$, $P(\tau)$, $U(\tau)$ в выражении (10) являются предметом научных исследований академических, ведущих отраслевых институтов, проектных и экспертных организаций. Параметр $[R_k(\tau)]$ устанавливается на основе анализа и обобщения информации о возникавших в России и за рубежом авариях и катастрофах для штатных (нормальных) и нештатных ситуаций функционирования объектов.

В настоящее время осредненные величины $P(\tau)$ для магистрального нефтепроводного транспорта находятся на уровне (0,1–0,06) на 1 тыс. км в год, ущербы $U(\tau)$ от аварий — на уровне $(4 \div 6) \cdot 10^7$ руб., а экономические риски — на уровне $(2,5 \div 4) \cdot 10^8$ руб/год.

Выполненные и предстоящие совместные разработки Ростехнадзора, ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ), РАН (Институт машиноведения — ИМАШ, Институт металлургии и материаловедения — ИМЕТ, Институт проблем нефти и газа — ИПНГ), ПАО «Транснефть» (ООО «НИИ Транснефть», АО «Транснефть — Диаскан»), Минобрнауки России (МГТУ им. Н.Э. Баумана, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, УГНТУ) по совершенствованию и применению риск-ориентированных подходов в области промышленной безопасности объектов трубопроводного транспорта имеют своей целью научное обоснование подготовки и реализации комплексных конструкторско-технологических, эксплуатационных и надзорных мероприятий с учетом обязательной оценки затрат $Z_R(\tau)$ на снижение рисков $R(\tau)$ в опасных ситуациях до приемлемого уровня $[R(\tau)]$:

$$Z_R(\tau) = \frac{1}{m_z} \{R(\tau) - [R(\tau)]\}, \quad (11)$$

где m_z — коэффициент эффективности затрат, $1 \leq m_z \leq 10$. Как показывают расчеты, величина риска $R(\tau)$ гибели людей при авариях на нефтепроводах, как правило, незначительна и находится на уровне $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹, что меньше общепринятой величины критерия допустимого (приемлемого) риска гибели людей при техногенных происшествиях $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

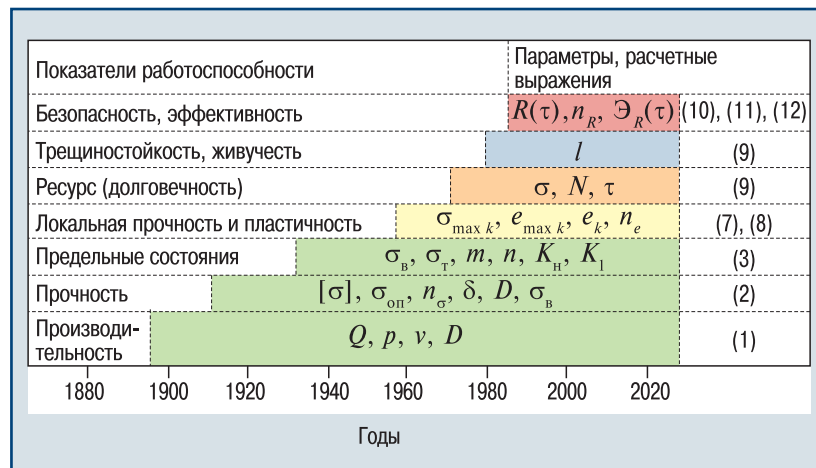
С учетом (10) и (11) годовая экономическая эффективность функционирования трубопроводного транспорта будет определяться с учетом $Z_R(\tau)$:

$$\mathcal{E}_R(\tau) = \mathcal{E}(\tau) - \{Z_R(\tau) + R(\tau)\}, \quad (12)$$

где $\mathcal{E}(\tau)$ — традиционно определяемая экономическая эффективность (прибыль от деятельности без учета рисков), измеряемая в руб/год.

Следует отметить, что при возникновении наиболее тяжелых аварий и катастроф $\mathcal{E}_R(\tau)$ может существенно снизиться или оказаться отрицательной.

Таким образом, на почти полуторавековом пути развития трубопроводного транспорта поэтапно решались научные проблемы и прикладные задачи обеспечения производительности, прочности, пластичности, ресурса, трещиностойкости, безопасности и эффективности для всех основных стадий жизненного цикла (рис. 4).



▲ Рис. 4. Развитие расчетных моделей определения параметров прочности, ресурса, живучести и безопасности трубопроводов (в хронологии)

▲ Fig. 4. Development of design models for determining the parameters of strength, service life, survivability and safety of the pipelines (in chronology)

При этом совершенствовались методы расчетов, расчетные выражения и критерии, расширялась и уточнялась система запасов.

Выражения (1)–(12) становятся основными расчетными, как в России, так и за рубежом (см. рис. 4).

В новых совместных разработках ООО «НИИ Транснефть», ИМАШ РАН, Ростехнадзора, ЗАО НТЦ ПБ [3–5, 9–14] по развитию методологии и реализации системы расчетов по всей системе выражений (1)–(12) основное внимание уделяется:

переходу от основных расчетов прочности и ресурса трубопроводов по выражениям (1)–(9) в детерминированной постановке к расчетам их базовых параметров в статистической и вероятностной постановке с последующим вероятностным определением $P(\tau)$ и $U(\tau)$ в выражении (10);

формированию баз знаний (расчетные модели и уравнения) и банков данных (значения параметров жизненного цикла конструкций трубопроводов) на основе расчетно-экспериментального анализа;

созданию системы сбора и анализа статистической информации по отказам, инцидентам, авариям и катастрофам с определением неприемлемых рисков $R(\tau)$;

нормативно-правовому установлению приемлемых рисков $[R(\tau)]$ и запасов n_R (в выражении (10);

обязательному научно обоснованному структурированию и нормированию систем комплексных мероприятий с расчетными затратами $Z_R(\tau)$ и эф-

фективностью $E_R(\tau)$ для обеспечения безопасного и экономически эффективного функционирования магистрального трубопроводного транспорта (по выражениям (11) и (12)).

Основные результаты выполненных разработок опубликованы в [2–5, 9–14], а также в серии томов «Безопасность России», в журналах «Безопасность труда в промышленности», «Нефтяное хозяйство», «Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов».

Заключение

Таким образом, на основе анализа результатов исследований в области обеспечения прочности, ресурса и безопасности магистральных трубопроводов в рамках взаимодействия ПАО «Транснефть», РАН, Минобрнауки России и Ростехнадзора на период до 2025 г. в число перспективных основных организационных, научно-методических, экспертных и надзорных мероприятий (обоснованных результатами работ [1, 2, 7, 8, 12–14]) и мероприятий, выполняемых ООО «НИИ Транснефть», войдут:

- активизация деятельности Комитета по проблемам магистрального транспорта углеводородов Научно-технического совета Ростехнадзора при секции № 6;
- подготовка и реализация соглашений о совместной деятельности;
- разработка и координация новой нормативно-технической документации по безопасности и эффективности магистрального трубопроводного транспорта;
- разработка проектов программ и планов по обеспечению и повышению безопасности и эффективности функционирования трубопроводного транспорта с использованием опыта реализации существующих и предшествующих программ (СССР, СНГ, ООН).

Список литературы

1. Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента Рос. Федерации от 6 мая 2018 г. № 198. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71836636/> (дата обращения: 25.08.2019).
2. План мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17 сент. 2018 г. № 1952-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/SHq5cAxyVp67B3dRqYfQKRVPANwHSPs.pdf> (дата обращения: 25.08.2019).
3. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем: учеб. пособие. — М.: ИЦ Елима, 2004. — 1104 с.

4. *Махутов Н.А.* Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. — Новосибирск: Наука, 2008. — 528 с.

5. *Перспективы* исследований в области анализа риска для совершенствования государственного регулирования и повышения безопасности объектов нефтегазохимического комплекса/ С.Г. Радионова, С.А. Жулина, Н.А. Махутов и др.// *Безопасность труда в промышленности.* — 2017. — № 9. — С. 5–13. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-9-5-13

6. *ПНАЭ Г7-002—86.* Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037730> (дата обращения: 25.08.2019).

7. *О стратегии* национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: Указ Президента Рос. Федерации от 12 мая 2009 г. № 537. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/95521/> (дата обращения: 25.08.2019).

8. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов:* федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 56 с.

9. *Научное обеспечение основ государственной политики в области промышленной безопасности/* А.Л. Рыбас, Н.А. Махутов, М.М. Гаденин и др.// *Безопасность труда в промышленности.* — 2018. — № 11. — С. 7–14. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-7-14

10. *Безопасность России.* Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность средств хранения и транспорта энергоресурсов. — М.: МГОФ «Знание», 2019. — 928 с.

11. *Неганов Д.А., Махутов Н.А., Зорин Н.Е.* Формирование требований к надежности и безопасности эксплуатируемых участков линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов// *Нефтяное хозяйство.* — 2019. — № 6. — С. 106–112.

12. *Жулина С.А., Лисанов М.В., Савина А.В.* Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах// *Безопасность труда в промышленности.* — 2013. — № 1. — С. 50–55.

13. *Анализ* риска магистральных нефтепроводов при обосновании проектных решений, компенсирующих отступления от действующих требований безопасности/ М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.В. Савина и др.// *Безопасность труда в промышленности.* — 2010. — № 3. — С. 58–66.

14. *О реализации* положений Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов»/ С.А. Жулина, В.Л. Титко, М.В. Лисанов, В.В. Симакин// *Безопасность труда в промышленности.* — 2014. — № 3. — С. 30–34.

kei51@mail.ru

Материал поступил в редакцию 29 августа 2019 г.

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2019, № 9, pp. 7–14.
DOI: 10.24000/0409-2961-2019-9-7-14

Development of Approaches to Solving the Problems of Ensuring Strength, Service Life and Safety of the Trunk Oil Transportation

N.A. Makhutov, RAS Corresponding Member, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Research Associate, kei51@mail.ru

Ya.M. Fridlyand, General Director

A.A. Raspopov, Cand. Sci. (Eng.), Center Deputy Director

The Pipeline Transport Institute (PTI, LLC), Moscow, Russia

M.V. Lisanov, Dr. Sci. (Eng.), the Director of Risk Analysis Center

STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia

Abstract

Ensuring the strength, service life and safety of the trunk pipelines is related to one of the most important areas of the fundamental scientific research and applied developments. Their results are of the undeniable importance for the design, construction and operation of the pipeline systems. In solving these problematic issues, for many decades the provisions were used related to the classical theories of the thin shells and strength theories, which formed the basis of the engineering calculations for determination of the pipeline parameters values.

Occurrence of various damages and destructions during the process of operation of the oil pipelines and oil product pipelines, posed new challenges on improving their calibration calculations. Latest directive government decisions on the application of risk-oriented approaches during industrial safety analysis are the basis for the creation and use of the unified methodology for assessment and ensuring functioning of potentially hazardous industrial facilities (including trunk pipelines). Its development is carried out by joint efforts of academic, leading industry institutes and other scientific centers of Russia.

Presented analysis of the complex problems of strength, service life and safety is based on the approaches implemented by OOO «Transneft» (head scientific subdivision of PAO «Transneft»).

Key words: trunk pipelines, strength, service life, safety, risk, calculations, norms, supervision, regulation, knowledge bases, data banks, failures, accidents, disasters.

References

1. On the fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of industrial safety for the period up to 2025 and further perspectives: Decree of the President of the Russian Federation. of May 6, 2018 № 198. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71836636/> (accessed: August 25, 2019). (In Russ.).

2. Action plan on the implementation of the Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of industrial safety for the period up to 2025 and further perspectives: Decree of the Government of the Russian Federation of September 17, 2018 № 1952-p. Available at: <http://static.government.ru/media/files/SHq5cAxyVp67B3dRqYfQKRVPAAHwHSPs.pdf> (accessed: August 25, 2019). (In Russ.).

3. Mazur I.I., Ivantsov O.M. Pipeline systems safety: textbook. Moscow: ITs Elima, 2004. 1104 p. (In Russ.).

4. Makhutov N.A. Strength and safety: basic and applied research. Novosibirsk: Nauka, 2008. 528 p. (In Russ.).

5. Radionova S.G., Zhulina S.A., Makhutov N.A., Gadenin M.M., Lysin Yu.V., Neganov D.A., Nadein V.A., Pecherkin A.S. Research Prospects in the Field of Risk Analysis for Improvement of Government Regulation and Safety Increase of

the Oil and Gas Chemical Complex Objects. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 9. pp. 5–13. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-9-5-13

6. PNAE G7-002—86. Strength calculation norms for equipment and pipelines of nuclear power plants. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200037730> (accessed: August 25, 2019). (In Russ.).

7. On the National Security Strategy of the Russian Federation until 2020: Decree of the President of the Russian Federation of May 12, 2009 № 537. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/95521/> (accessed: August 25, 2019). (In Russ.).

8. On industrial safety of hazardous production facilities: Federal Law of July 21, 1997 № 116-FZ. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 56 p. (In Russ.).

9. Rybas A.L., Makhutov N.A., Gadenin M.M., Pecherkin A.S., Nadein V.A. Scientific Support of the State Policy Fundamentals in the Field of Industrial Safety. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 11. pp. 7–14. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-7-14

10. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Safety of energy storage and transport facilities. Moscow: MGOF «Znanie», 2019. 928 p. (In Russ.).

11. Neganov D.A., Makhutov N.A., Zorin N.E. Formation of the requirements for reliability and safety of the operated sections of the linear part of the trunk oil and oil product pipelines. *Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry*. 2019. № 6. pp. 106–112. (In Russ.).

12. Zhulina S.A., Lisanov M.V., Savina A.V. Methodical Guide on Assessment of Accidents Risk Level at Oil Trunk Pipelines and Main Oil Products Pipelines. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2013. № 1. pp. 50–55. (In Russ.).

13. Lisanov M.V., Sumskey S.I., Savina A.V., Shanina E.L., Lesnyak A.E., Taran A.I., Naumovich I.V. Risk Analysis of Oil Trunk Pipelines when Substantiating Design Solutions Compensating Deviations from the Current Safety Requirements. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2010. № 3. pp. 58–66. (In Russ.).

14. Zhulina S.A., Titko V.L., Lisanov M.V., Simakin V.V. Concerning Implementation of the Provisions of the Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety «Safety Regulations for Hazardous Production Facilities of the Main Pipelines». *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2014. № 3. pp. 30–34. (In Russ.).

Received August 29, 2019

По страницам научно-технических журналов // сентябрь 2019 г.

Нефтегазовое дело (сетевое издание)

Количественная оценка неопределенности результатов анализа риска техногенных аварий/ А.В. Федосов, И.И. Бадртдинова, К.Н. Абдрахманова и др. — 2019. — № 3.

Приводится один из способов определения количественной оценки риска, который позволяет визуализировать этапы вычисления и минимизировать процесс расчетов.

Повышение безопасности эксплуатации подъемных сооружений, используемых в строительномонтажных работах/ Р.Х. Абдрахманов, И.Р. Даутова, Д.Х. Зарина и др. — 2019. — № 3.

Представлены современные методы безопасности, которые используются в настоящее время при эксплуатации подъемных сооружений, применяемых при выполнении строительномонтажных работ. Цель исследования — анализ современных средств контроля различных параметров при работе с подъемными сооружениями.

Контроль качества монтажных работ при строительстве пластмассовых газопроводов/ Д.А. Виноградов, С.В. Астраханцев, А.К. Ращепкин и др. — 2019. — № 3.

Сделан вывод о необходимости увеличения объемов контроля стыковых соединений пластмассовых газопроводов и доведения их до уровня объемов стальных газопроводов. Представлены требования для контроля монтажных работ на всех стадиях строительства пластмассового газопровода.

Мурсалов Н.З. Вопросы оптимизации дистанционного обнаружения утечек газа в газопроводах с учетом влияния ветра. — 2019. — № 4.

Проведенный анализ результатов известных исследований показал, что ветер является фактором, увеличивающим предельное значение обнаруживаемой величины концентрации газа. Осуществлена оптимизация нециклического режима измерений концентрации природного газа при наличии ветра в целях обнаружения утечки. Получено трансцендентное уравнение для вычисления оптимального по информационному критерию значения длительности проводимых измерений. Осуществлена оптимизация циклического режима измерений концентрации газа с учетом влияния ветра. Получено уравнение, позволяющее определить наилучший режим проводимых измерений.

Применение технологии бесконтактного электротушения пожара на объектах нефтегазовой промышленности/ Т.В. Васильева, Ф.Ш. Хафизов, А.В. Пермяков и др. — 2019. — № 4.

Рассмотрена новая технология тушения пожара, основанная на применении высоковольтного электрического напряжения постоянного тока, воздействующего на пламя. Представлены теоретические основы природы тушения пожара электричеством, а также различные вариации устройств бесконтактного электротушения очага возгорания, которые можно применять при тушении пожаров на нефтегазовых объектах. Выделены основные результаты испытаний и преимущества новой технологии тушения пожара.