

# РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПЕРЕКАЧКИ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ НА НЕФТЕГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL REGIMES OF GAS-LIQUID MIXTURES PUMPING AT OIL AND GAS TRANSPORTATION FACILITIES IN WESTERN SIBERIA

**S. Dudin**  
**D. Novitsky**  
**S. Podorozhnikov**

*Summary.* This article presents the results of a review of published research and development on physical and mathematical modeling of flow regimes of hydrocarbon mixtures in pipelines. The main types and causes of operational complications that have a significant impact on the hydrodynamic modes of pipeline systems when pumping gas-saturated multicomponent hydrocarbon mixtures are described. The classification of hydraulic modes of operation of pipelines is shown and the analysis of the reasons of their change is given. The main principles of organization and ways of development of monitoring systems of technological modes of pumping of hydrocarbon raw materials at oil and gas transportation facilities of Western Siberia are considered. As a key solution in the direction of development of systems of this class, it is proposed to use physical and mathematical modeling in the identification of pumping modes in pipeline systems. Later in the article shown developed at the Department TOUR of GBOWO "Tyumen industrial University" physical-mathematical model of a multicomponent hydrocarbon mixture in the condensate line and received the results of a parametric study of thermophysical properties of the transported product along the length of the pipeline.

*Keywords:* hydrodynamics, flow regime, monitoring, physical and mathematical model, pipeline, oil and gas condensate mixture.

**Дудин Сергей Михайлович**

Ассистент, Тюменский индустриальный университет  
srghome@mail.ru

**Новицкий Дмитрий Владимирович**

К.т.н., доцент, Тюменский индустриальный университет  
uvr@tyuiu.ru

**Подорожников Сергей Юрьевич**

К.т.н., доцент, Тюменский индустриальный университет  
sergey\_urevih@mail.ru

*Аннотация.* В данной статье представлены результаты обзора опубликованных исследований и разработок, посвященных вопросам физико-математического моделирования режимов течения углеводородных смесей в трубопроводах. Описаны основные типы и причины возникновения эксплуатационных осложнений, оказывающих существенное влияние на гидродинамические режимы работы трубопроводных систем при перекачке газонасыщенных многокомпонентных углеводородных смесей. Показана классификация гидравлических режимов работы трубопроводов и приведен анализ причин их изменения. Рассмотрены главные принципы организации и пути развития систем мониторинга технологических режимов перекачки углеводородного сырья на нефтегазотранспортных объектах Западной Сибири. В качестве ключевого решения в направлении развития систем такого класса предложено использовать физико-математическое моделирование при идентификации режимов перекачки в трубопроводных системах. Далее в статье показана разработанная на кафедре ТУР ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» физико-математическая модель течения многокомпонентной углеводородной смеси в конденсатопроводе и полученные с её помощью результаты параметрического исследования теплофизических свойств транспортируемого продукта по длине трубопровода.

*Ключевые слова:* гидродинамика, режим течения, мониторинг, физико-математическая модель, трубопровод, нефтегазоконденсатная смесь.

## Введение

**Н**а сегодняшний день отечественными и зарубежными авторами предложен ряд математических моделей, позволяющих с достаточной точностью имитировать и идентифицировать технологические режимы работы нефтегазотранспортных объектов с использованием классических положений теории механики сплошных сред. Принципиальные отличия математических моделей усматриваются в количестве и ка-

честве учитываемых условий и особенностей, имеющих место при трубопроводном транспорте углеводородных смесей.

Большинство публикаций, посвященных трубопроводному транспорту многофазных углеводородов, раскрывают вопросы транспорта двухфазных углеводородных систем, где особое внимание уделяется режимам течения газонасыщенных и газожиждкостных смесей с выделением в структуре потока газовой и жидкой фаз.



Рис. 1. Эксплуатационные осложнения, возникающие при трубопроводном транспорте газожидкостных углеводородных смесей



Рис. 2. Гидравлические режимы работы трубопроводов и причины их изменения

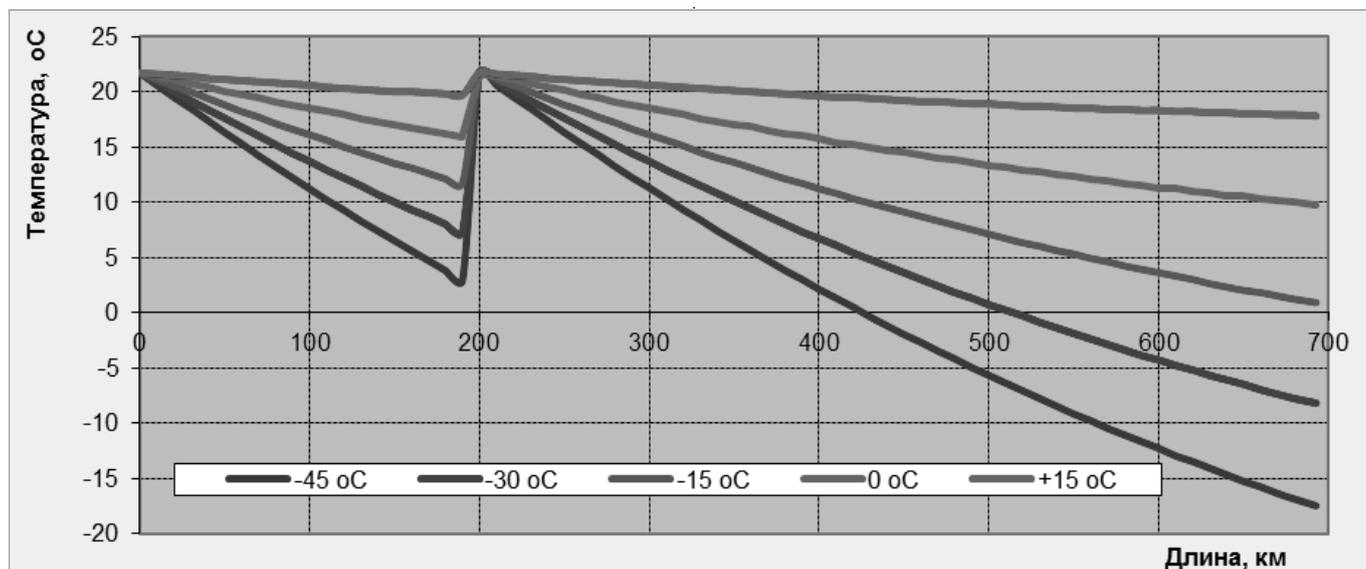


Рис. 3. Изменение температуры газового конденсата вдоль трассы трубопровода при различных температурах окружающей среды

## Методы, результаты и обсуждение

При трубопроводном транспорте газожидкостных углеводородных смесей наблюдаются эксплуатационные осложнения, обусловленные физико-химическим составом перекачиваемой среды, воздействием сил трения и сил гравитации на транспортируемый поток (рис. 1) [1, 2, 3 и др.].

Видно, что существование во внутренней полости трубопровода эксплуатационных осложнений приводит к негативному влиянию на гидродинамические режимы работы трубопровода, и в частности, к увеличению гидравлических потерь и перепада давления по длине трубопровода.

Известно, что значительную часть времени трубопроводы работают на нестационарных режимах, вызванных различными причинами [3]:

- ◆ сезонными изменениями температуры окружающей среды;
- ◆ остановкой (включением) перекачивающих агрегатов или станции в целом;
- ◆ включением (отключением) путевых сбросов и подкачек транспортируемого продукта, в том числе аварийными утечками;
- ◆ изменением положения рабочих органов запорно-регулирующей арматуры;
- ◆ влиянием коэффициента теплопроводности грунта на функциональные параметры перекачки и т.д.

Развитая сеть промышленных и магистральных трубопроводов на территории Западной Сибири предподре-

деляет особое внимание к гидродинамическим процессам на нефтегазотранспортных объектах с точки зрения эффективности энергозатрат и обеспечения рациональных режимов перекачки углеводородного сырья. Решение поставленной задачи возможно за счет развития и модернизации систем контроля и управления технологическими режимами перекачки на объектах трубопроводного транспорта газожидкостных смесей.

В настоящее время современный уровень развития науки и технологий позволяет сформулировать две основные задачи по повышению эффективности систем мониторинга технологических режимов перекачки углеводородного сырья на нефтегазотранспортных объектах Западной Сибири [1, 2, 3 и др.]:

- ◆ разработка и внедрение в алгоритмическую основу систем мониторинга технологических режимов перекачки перспективных физико-математических моделей, которые позволяют идентифицировать гидродинамические характеристики объекта на различных режимах его эксплуатации;
- ◆ развитие и модернизация систем сбора и первичной обработки данных об технологических режимах перекачки на базе современных высокоточных технических средств измерения и программных комплексов.

Ниже в качестве примера приведены результаты параметрического исследования теплофизических свойств транспортируемого продукта по длине трубопровода на базе разработанной на кафедре ТУР ФГБОУВО «Тюменский индустриальный университет» физико-матема-

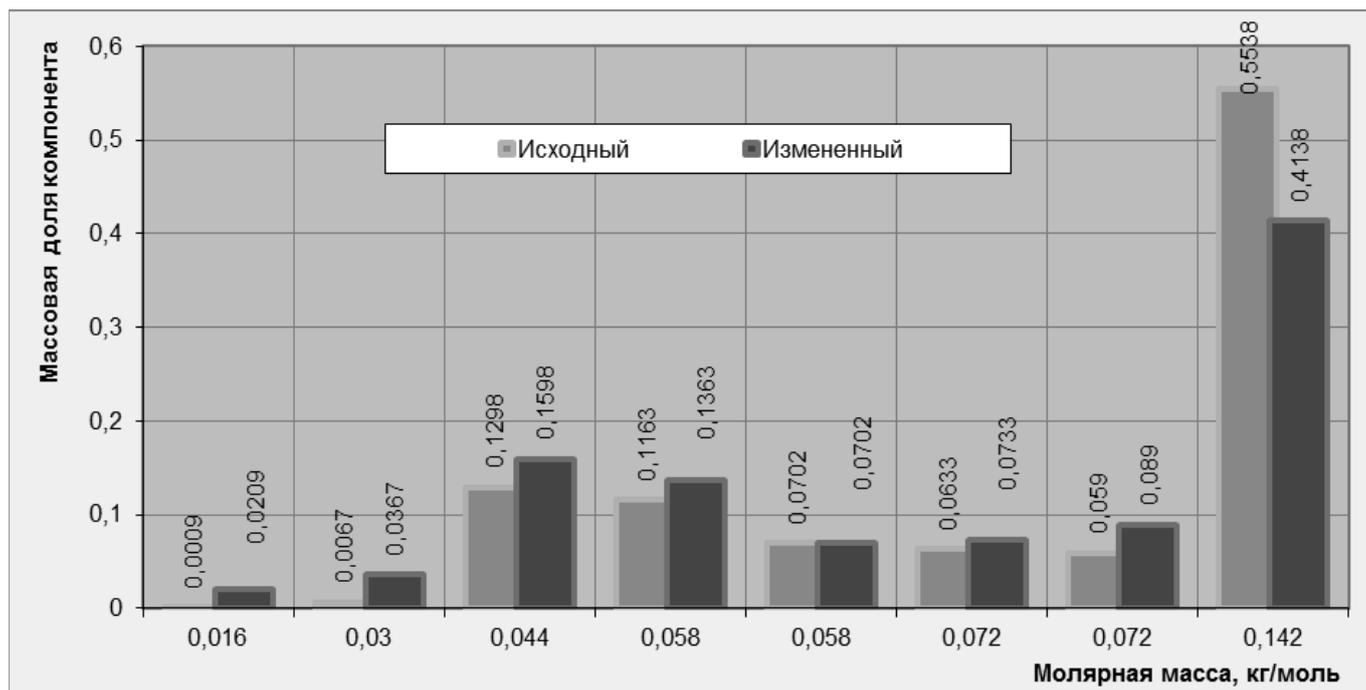


Рис. 4. Массовые доли компонент углеводородной смеси (исходной — в соответствии промышленными данными и измененные в сторону большего относительного содержания более легких компонент)

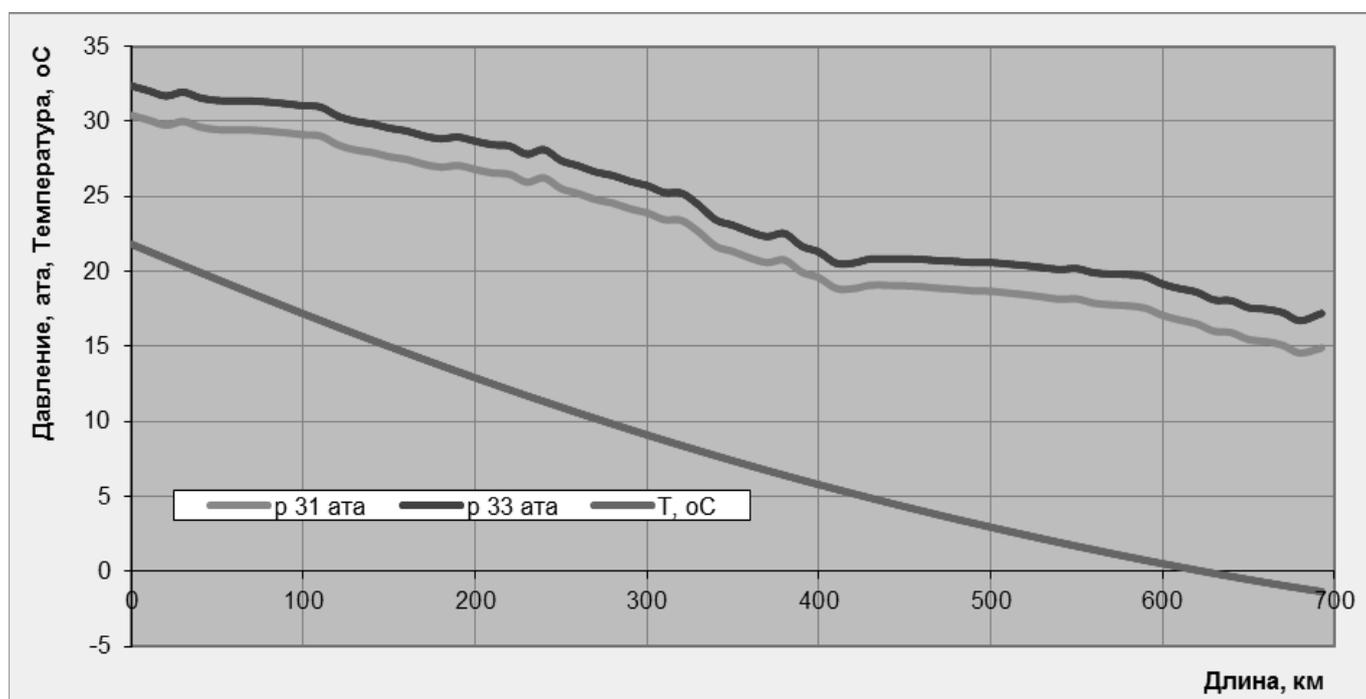


Рис. 5. Изменение давления и температуры вдоль трассы конденсаторпровода при увеличенном массовом содержании легких фракций углеводородов

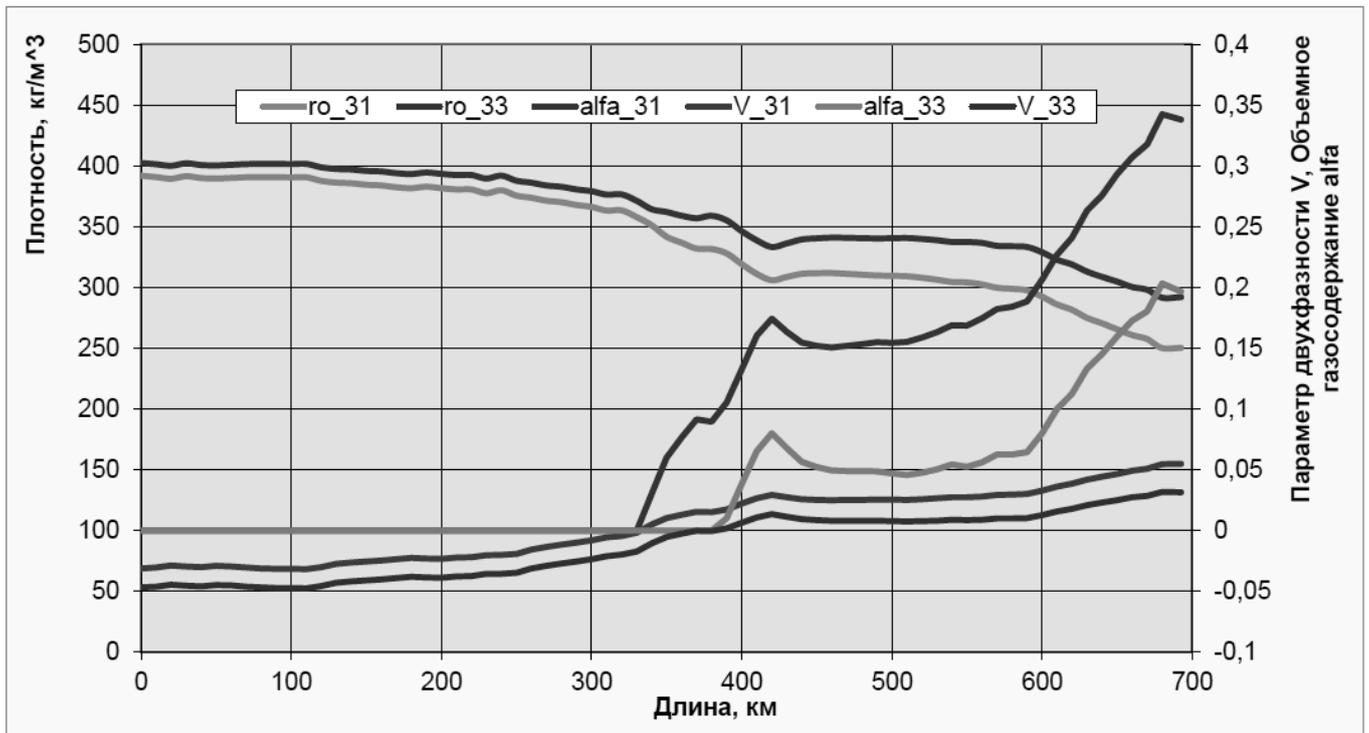


Рис. 6. Изменение плотности и параметров фазового состояния УВС вдоль трассы конденсатопровода при увеличенном массовом содержании легких фракций углеводородов

тической модели течения многокомпонентной углеводородной смеси в конденсатопроводе (рис. 3–6) [4–6].

На рис. 3 представлено расчетно-параметрическое исследование изменения температуры УВС при изменении температуры окружающего воздуха от  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  при давлении на входе 31 ата и высоте снежного покрова 0,6 м. Из анализа графиков можно сделать вывод о существенном влиянии температуры окружающего воздуха на термобарические условия в конденсатопроводе.

На рис. 4 приведено сопоставление массовых долей компонентов исходной углеводородной смеси и измененной углеводородной смеси (метана — 2,09%, этана — 3,67%, пропана — 15,98%, изо-бутана — 13,63%, н-бутана — 7,02%, изо-пентана — 7,33%, н-пентана — 8,9%, гексана+ — 41,38%). Из полученных данных следует, что УВС приведенного выше состава переходит в двухфазное газожидкостное состояние при более высоком давлении при увеличении входного давления газоконденсата до 33 ата. Зона двухфазного течения увеличивается и смещается на 60–70 км к началу конденсатопровода. Режим двухфазного течения в трубопроводе при этом определялся с учетом известного алгоритма.

На рис. 5 и рис. 6 приведены результаты расчетно-параметрического исследования изменения дав-

ления, температуры, плотности и фазового состояния газоконденсатной смеси с тем же компонентным составом, но при перераспределении массовых долей компонент в сторону относительного увеличения массы более легких углеводородов. Расчеты показывают, что при снижении рабочего давления перекачки до 25 ата на начальном участке трубопровода УВС переходит в двухфазное газожидкостное состояние примерно на 650-м км трассы трубопровода и далее до конечного сечения трубопровода смесь движется в двухфазном состоянии.

### Выводы

1. Существование во внутренней полости трубопровода эксплуатационных осложнений приводит к негативному влиянию на гидродинамические режимы работы трубопровода.
2. Развитие и модернизации систем контроля и управления технологическими режимами перекачки на объектах трубопроводного транспорта газожидкостных смесей должно базироваться на использовании методов физико-математического моделирования;
3. По результатам параметрического исследования термодинамических свойств нефтегазоконденсатной смеси в трубопроводе с использованием

физико-математической модели течения можно констатировать, что:

- ◆ выявлено влияние термобарических условий при входе продукта в конденсатопровод на фазовое равновесие и параметры в выходном сечении трубопровода;
- ◆ установлены условия перекачки продукта в жидкостном и газожидкостном режиме, что суще-

ственно влияет на теплогидравлические характеристики конденсатопровода;

- ◆ обоснована возможность расчетно-теоретического определения допустимых значений массовых концентраций легких фракций углеводородов во входном сечении магистрального конденсатопровода из условия обеспечения однофазного режима течения;

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дудин С. М. Расчетно-параметрическое исследование углеводородной смеси в конденсатопроводе. /Дудин С.М., Земенков Ю. Д., Шабаров А. Б., Саранчин Н. В. // Трубопроводный транспорт [теория и практика]. — Москва: ВНИИСТ, 2010. — № 5 — с. 42–45.
2. Дудин С. М. Перспективы снижения энергетических затрат на транспорт углеводородов. /Дудин С.М., Земенков Ю. Д., Шиповалов А. Н., Подорожников С. Ю. // Известия вузов. Нефть и газ. — Тюмень: изд-во ТюмГНГУ, 2011. — № 2 — с. 65–69.
3. Управление энергоэффективностью: моделирование режимов течения углеводородного сырья в трубопроводах: Монография/ Дудин С. М., Земенков Ю. Д., Курушина Е. В., Моисеев Б.В, Аптразаков Р. А., Мухортов А. А. — Тюмень: издательство «Вектор Бук», 2016. — 333 с.
4. S.M. Dudin. Research and Design of Thermophysical Gas-Liquid Mixture Parameters in Product Pipelines. / S. M. Dudin, Yu. D. Zemenkov, A V Maier, A. B. Shabarov// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 154 (2016)
5. S.M. Dudin. Modeling hydrodynamic state of oil and gas condensate mixture in a pipeline. / S. M. Dudin, K. V. Voronin, S. V. Yakubovskaya, S. Mutavaliyev, // MATEC Web of Conferences Volume 73, 11 August 2016.
6. S. M. Dudin. Modeling the Phase Composition of Gas Condensate in Pipelines. / S. M. Dudin, Yu. D. Zemenkov, A. B. Shabarov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 154 (2016)

© Дудин Сергей Михайлович ( srghome@mail.ru ),

Новицкий Дмитрий Владимирович ( uvr@tyuiu.ru ), Подорожников Сергей Юрьевич ( sergey\_urevich@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Тюменский индустриальный университет