

# Формирование модели структуры нефтяного потока на основе точного определения примесей для управления транспортными системами

**В.Ю. Коптев**

к.т.н., доцент кафедры горных транспортных машин  
kvuy@mail.ru

**А.В. Коптева**

к.т.н., ассистент кафедры электроэнергетики и электромеханики  
alexandrakopteva@gmail.com

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург, Россия

**В статье описана проблема несовершенства существующих методов при качественном и количественном контроле нефти. Для осуществления этих целей предложен метод, основанный на радиоизотопном излучении. Предложена математическая модель структурной оптимизации транспортной системы.**

## Материалы и методы

С помощью радиоизотопной измерительной системы на основе комптоновского рассеяния и фотоэлектронного поглощения можно контролировать толщину слоя отложений на стенках трубопровода, получать информацию о характере и составе транспортируемого потока, и, на основе полученных результатов, с использованием структурной оптимизации, совершенствовать добычную и транспортный процессы.

## Ключевые слова

радиоизотопное излучение, расход, нефть, трубопровод, плотность, критерий оптимизации

Сегодня технических решений автоматического измерения свойств перекачиваемых жидкостей сложной структуры, параметров гетерогенных потоков, состояния трубопроводов, в полной мере отвечающих требованиям точности и единства измерений, пока не разработано [1]. Использование приборного оборудования для выполнения этих измерений позволяет повышать промышленную безопасность магистральных трубопроводов, контролировать качество потока и параметры процесса перекачивания, разрабатывать модели потока смешанных жидкостей.

Например, мониторинг трубопроводов, перекачивающих слабосжимающиеся жидкости (нефть и её продукты) внутритрубными снарядами, движущихся за счёт потока жидкости, затруднён из-за парафиносмолистых отложений как по поперечному сечению, так и по длине трубопровода.

Для управления потоками добываемой нефти и эффективного применения технологий её переработки необходимо знать структуру и количественные характеристики примесей, содержащихся в потоке, в местах добычи. Оперативную картину дают данные анализа измерения включений в потоке нефти в сечении трубы с помощью бесконтактных радиоизотопных методов (БРМ).

В работах [1, 2] приведены результаты экспериментальных исследований по обнаружению, измерению и изучению включений и структуры парафинов в потоке нефти промысловых нефтепроводов. Последующие исследования применения БРМ подтверждают возможность высокоточного и оперативного измерения и других твердых примесей содержащихся в добываемой нефти, а также воды и газов.

Исследования показали, что возможности БРМ не ограничиваются определением количественного и химического состава включений, но и регистрацией параметров потока в режиме «online» на начальном этапе добычи нефти, что необходимо для определения фактического объёма добываемой нефти, «настройки» технологии переработки, принятия решений для борьбы с отложениями на стенках трубопровода и управлению параметрами её перекачки. На основании данных с нескольких измерительных линий возможен контроль на одном объекте контроля.

Для анализа и управления транспортной системой перекачки нефти необходимо располагать структурой потока (сочетаний включений) и параметрами потока, описываемых набором влияющих факторов (переменных). Решение названных задач сводится к структурной оптимизации модели транспортной системы [4].

Модель реальной нестационарной структуры потока добываемой нефти, должна содержать изменяющийся спектр примесей и

совокупность влияющих на перекачку переменных факторов.

В модели структура потока принимается как вектор определяемый набором факторов:

$$(n; p; i; j; \bar{x}_p, \dots, \bar{x}_n; \bar{y}_p, \dots, \bar{y}_n; \bar{z}_j; d)$$

где  $n$  — число видов примесей;  $p$  — число сочетаний факторов, влияющих на транспортный поток (давление, температура, плотность, расход, диаметр трубопровода, скорость движения);  $i$  — индивидуальный номер примеси ( $1, \dots, n$ );  $j$  — индивидуальный номер сочетаний факторов ( $1, \dots, p$ );  $\bar{x}_n$  — вектор изменения количества и вида примеси;  $\bar{y}_p$  — вектор характеристик потока;  $\bar{z}_j$  — вектор состояния потока в логистической схеме с учётом управляющих воздействий;  $d$  — другие дополнительные факторы или условия, влияющие на транспортную систему.

Одномерное течение нефти моделируется системой уравнений, состоящей из уравнения неразрывности и уравнения движения [5]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho \cdot c^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} + \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = -\lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u \cdot |u|}{2} - \rho \cdot g \cdot \sin \alpha(x) \quad (1)$$

где  $u$  — скорость нефти;  $p$  — давление нефти;  $x$  — координата вдоль оси трубопровода;  $t$  — время;  $\rho$  — плотность нефти;  $c$  — скорость распространения волн в трубопроводе;  $\lambda$  — коэффициент гидравлического сопротивления;  $d$  — внутренний диаметр трубопровода;  $\alpha(x)$  — угол наклона профиля трубопровода к горизонту.

Система уравнений 1 дополняется начальными и краевыми условиями. В начале трубопровода задан постоянный расход, а в конце участка трубопровода постоянным считается давление.

При задании критериев оптимизации и целевой функции можно решить задачу структурной оптимизации — выявить оптимальные параметры структуры транспортной системы и управления потоками. При необходимости можно переориентировать задачу — определить требования к проектированию транспортной системы нефти.

## Итоги

Приведена методика анализа и управления транспортной системой перекачки нефти, описаны основные результаты математического моделирования структуры и параметров потока.

## Выводы

1. Радиоизотопный метод измерения обладает высокой эффективностью и способен измерять химический и количественный состав потоков, на основании которых возможно получить модель реальной нестационарной структуры потока добываемой нефти.
2. Создание измерительной системы на основе радиоизотопного излучения для определения реального компонентного состава нефти и её объёма, использования

критериев оптимизации, позволит разработать единый, централизованный и открытый отдел по контролю качества нефти и условий транспортирования. Это позволит повысить уровень производства, существенно понизить энергозатраты, обеспечить энергоэффективную транспортировку углеводородов.

#### Список литературы

1. Лищук А.Н. Учет углеводородного сырья: новый взгляд на привычные вещи // Нефтяное хозяйство. 2013. №3. С. 1–3.
2. Коптева А.В. Неразрушающий контроль плотности нефти на основе радиоизотопного излучения // Экспозиция

Нефть Газ. 2015. № 3 (42). С. 58–59.

3. Kopteva A.V., Koptev V. Yu. Automated monitoring system for asphaltene-resin-paraffin deposits in main oil pipelines // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2016. Vol. 11. Issue 4. pp. 2191–2198.
4. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. Москва: Машиностроение, 1988. 368 с.
5. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. М.: Нефть и газ, 2003. 235 с.

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

## Accurate determination of the amount of impurities to form a structural model of the oil flow for the purpose of management of transport systems

UDC 681.2

#### Authors:

**Vladimir Yu. Koptev** — Ph.D., associate professor of department of mining transport machines; [kvuy@mail.ru](mailto:kvuy@mail.ru)

**Alexandra V. Kopteva** — Ph.D., assistant of department of electrical energetics and electromechanics; [alexandrakopteva@gmail.com](mailto:alexandrakopteva@gmail.com)

National Mineral Resources University (Mining University), Saint-Petersburg, Russian Federation

#### Abstract

The article describes the limitations of the existing methods for qualitative and quantitative control of oil. This can be done by radioisotope measurements. A mathematical model of structural optimization of the transport system.

#### Materials and methods

With Radioisotope Intelligent Measurement System based on Compton scattering and absorption of the radioisotope photoelectron emission it is possible to monitor the deposit layer thickness on pipeline walls and to obtain the information regarding the character and the composition of the flow transported, and, in turn, based on the results obtained, using structural optimization, oil extraction and transportation processes may be further improved.

#### Results

The technique of analysis and control of the transport system of pumping oil, the main results of mathematical modeling of the structure and flow parameters are described.

#### Conclusions

1. Radioisotope method is very effective and provides a measure chemical and quantitative composition of the flows on the basis of which it is possible to obtain a real model of a nonstationary flow of oil production structure.
2. Radioisotope system provides a measurement of the actual component composition of oil and its consumption. This will develop a unified, centralized and open department for quality control of oil and transport conditions. With Radioisotope measurement system and optimization criteria it is possible to obtain the information regarding the character and the composition of the flow transported, and, in turn, based on the results obtained, oil extraction and transportation processes may be further improved, to reduce energy, to provide energy-efficient transportation of hydrocarbons.

#### Keywords

radioisotope, consumption, oil, pipeline, density, optimization criterion

#### References

1. Lishchuk A.N. *Uchet uglevodorodnogo syr'ya: novyy vzglyad na privychnye veshchi* [Consideration of hydrocarbons: a new look at familiar things]. Oil Industry, 2013, issue 3, pp. 1–3.
2. Kopteva A.V. *Nerazrushayushchiy kontrol' plotnosti nefi na osnove radioizotopnogo izlucheniya* [Nondestructive measurement of the oil density by using radioisotope radiation]. Exposition Oil Gas, 2015, issue 3, pp. 58–59.
3. Kopteva A.V., Koptev V. Yu. Automated monitoring system for asphaltene-resin-paraffin deposits in main oil pipelines // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2016. Volume 11, issue 4, pp. 2191–2198.
4. Polovinkin A.I. *Osnovy inzhenernogo tvorchestva: Ucheb. posobie dlya studentov vuzov* [Fundamentals of engineering creativity: tutorial]. Moscow, *Mashinostroenie*, 1988, 368 p.
5. Lur'e M.V. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov truboprovodnogo transporta nefi, nefteproduktov i gaza* [Mathematical modeling of oil pipeline transport processes of oil and gas]. Moscow: *Neft' i gaz*, 2003, 235 p.

 **Завод "Калининградгазавтоматика"**  
Общество с ограниченной ответственностью

Основано в 1960 г. Дочернее общество  
ПАО «Газпром автоматизация»

## АВТОНОМНАЯ МОБИЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ЯВЛЯЕТСЯ КОМПЛЕКСНЫМ, НАДЕЖНЫМ, ГИБРИДНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Электричество вырабатывается за счет энергии солнца, ветра, дизель-генератора
- Модельный ряд от 3 кВт до 30 кВт.

Мобильное исполнение



Стационарное исполнение



Установки применяются:

- В качестве источников бесперебойного питания на отраслевых объектах;
- В чрезвычайных ситуациях природного, техногенного и др. характера;
- В дорожно-строительном секторе;
- В сельскохозяйственном секторе;
- В туристическом и др. секторах промышленности.

ООО Завод «Калининградгазавтоматика»  
236000, РФ, г. Калининград, Гвардейский пр., д. 15  
Тел: (4012) 576-032. Факс: 576-024  
Отдел продаж: 576-033, 576-028, 576-125  
[zavod@kga.ru](mailto:zavod@kga.ru)  
[www.kga.ru](http://www.kga.ru)

Уполномоченный представитель по реализации  
продукции ООО «Инвестгазавтоматика»  
119435, г. Москва, Саввинская наб., 25  
Тел: (495) 933-62-30. Факс: 933-62-32  
[info@invest-gaz.ru](mailto:info@invest-gaz.ru)  
[www.invest-gaz.ru](http://www.invest-gaz.ru)

ПАО «Газпром автоматизация»  
119435, г. Москва, Саввинская наб., 25  
[www.gazprom-auto.ru](http://www.gazprom-auto.ru)

