

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-6-90-98
УДК 622.692.4

А.А. Коршак (Научно-технический центр ООО «НИИ Транснефть»,
г. Уфа, Российская Федерация)

К ВОПРОСУ О ВЫНОСЕ СКОПЛЕНИЙ ВОДЫ ПОТОКОМ ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Aleksey A. Korshak (Scientific and Technical Center
«Transneft Research Institute» LLC, Ufa, Russian Federation)

ABOUT REMOVAL OF WATER CLUSTERS BY PUMPING LIQUID FLOW

Введение

В процессе перекачки нефти и нефтепродуктов в полости трубопроводов происходит постепенное формирование скоплений воды. Их присутствие отрицательно сказывается на работе нефте- и нефтепродуктопроводов: увеличивается расход энергии на перекачку, протекают процессы внутренней коррозии, вносятся погрешность в учет продукта при инвентаризации и т.д.

Использование очистных поршней для выноса скоплений воды связано с проведением ряда трудоемких операций по запасовке поршней, их извлечению, отмывке и доставке в исходную точку трассы. Поэтому весьма привлекательным является использование для этих целей кинетической энергии самого потока нефти (нефтепродукта).

Цели и задачи

Анализ имеющихся работ, посвященных определению условий выноса скоплений воды потоком перекачиваемого продукта.

Результаты

Показано, что предложенные на сегодняшний день методики расчета режимов выноса скоплений воды за счет использования кинетической энергии потока не учитывают таких явлений, как волнообразование на поверхности воды, дробление скоплений, вынос их частями (слагами), а порой противоречат друг другу. Сформулированы требования к проведению экспериментальных исследований в данной области.

Background

In the process of oil and oil products pumping in the cavity of pipelines, water accumulates gradually. Its presence is negatively affected by the operation of oil pipelines and oil products pipelines: the power consumption for pumping increases, internal corrosion processes occur, an error is introduced in the product accounting during the inventory, etc.

The use of cleaning pistons for the removal of water clusters is associated with a number of labor-intensive operations to stock pistons, extract them, wash them and deliver them to the starting point of the route. Therefore, it is very attractive to use for this purpose the kinetic energy of the flow of oil (oil product) itself.

Aims and Objectives

Analysis of published works on the determination of conditions for the removal of water clusters by the pumped product stream.

Results

It is shown that to date the proposed technique for calculating the flow of water clusters removal mode by using the kinetic energy does not take into account such things as the wave formation at the water surface, crushing the clusters, their stem portions (slug), and sometimes contradictory. The requirements for conducting experimental research in this area are formulated.

Ключевые слова: скопления воды, увеличение расхода энергии на перекачку, внутренняя коррозия труб, погрешности учета нефти при инвентаризации, вынос скоплений воды путем использования кинетической энергии потока

Key words: water clusters, increased energy consumption for pumping, internal corrosion of pipes, error-oil in the inventory, removal of the water clusters by using the kinetic energy of the flow

В нефти, транспортируемой по магистральным трубопроводам, допускается содержание воды до 0,5 % по объему. В нефтепродуктах ее наличие обусловлено суточными колебаниями температуры газового пространства резервуаров: в ночные часы (особенно летом) паровоздушная смесь становится перенасыщенной водяными парами. Таким образом, присутствие капельной влаги в нефти и нефтепродуктах, перекачиваемых по магистральным трубопроводам, - это реальность, с которой надо считаться. В частности, при низких скоростях потока или при длительных остановках перекачки капли воды оседают по нижней образующей трубы, формируя водяные скопления.

Другой причиной формирования подобных скоплений является некачественное удаление опрессовочной воды.

Присутствие водяных «мешков» в пониженных точках трассы отрицательно сказывается на работе трубопроводов:

- 1) приводит к увеличению их гидравлического сопротивления;
- 2) создает условия для протекания внутренней коррозии трубы;
- 3) вносит погрешность в учет нефти (нефтепродуктов) при инвентаризации.

Поэтому их необходимо удалять.

Опыт показывает, что полного удаления скоплений воды не обеспечивают ни механические устройства (скребки, разделители), ни гелевые пробки. Поэтому весьма актуальным является *метод удаления водяных скоплений потоком перекачиваемой нефти* (нефтепродукта).

Создание достоверной методики расчета режимов выноса скоплений воды за счет использования кинетической энергии потока возможно только при сочетании хо-

In the oil transported through pipelines, water content of up to 0.5 % by volume is allowed. In oil products, its presence is due to daily fluctuations in the temperature of the gas space in the tanks: at night (especially in summer), the vapor-air mixture becomes supersaturated with water vapor. Thus, the presence of droplet moisture in oil and oil products pumped through pipelines is a reality that must be considered. In particular, at low flow rates or during long stops pumping water droplets are deposited on the lower forming tube, forming water clusters.

Another reason for the formation of such clusters is the poor quality removal of pressurized water.

The presence of water «bags» in the lower points of the route adversely affects the operation of pipelines:

- 1) leads to an increase in their hydraulic resistance;
- 2) creates conditions for internal corrosion of the pipe;
- 3) introduces an error in the accounting of oil (oil products) during the inventory.

Therefore, they must be removed.

Experience shows that neither mechanical devices (scrapers, separators), nor gel plugs provide complete removal of water clusters. Therefore, the method of removal of water clusters by the flow of pumped oil (oil product) is highly relevant.

Creating a reliable method of calculating the regimes of water clusters through the use of the kinetic energy of the flow is possible only

рошо поставленных на метрологически состоятельном стенде экспериментов и последующего убедительного обобщения полученных результатов.

Изучению условий этого процесса посвящены труды многих авторов. Первым среди них был В.К. Касперович [1], который, во-первых, визуальнo в лабораторных условиях наблюдал физические процессы, протекающие в экспериментальном трубопроводе при натекании керосина и его смеси с веретенным маслом на скопление воды, а, во-вторых, получил приближенную формулу для вычисления скорости потока, обеспечивающей их вынос целиком. К сожалению, точность этой формулы применительно к трубам большого диаметра (100 мм и более) явно недостаточна, поскольку условия лабораторной установки В.К. Касперовича не моделируют условий, имеющих место в трубопроводной практике.

Понимая недостатки формулы В.К. Касперовича, профессор И.А. Чарный [2] решал задачу о выносе скоплений воды целиком теоретически. Для элемента трубопровода со скоплением воды в восходящем участке он записал уравнение удельной энергии потока в дифференциальной форме, а затем преобразовал его, получив в итоге расчетную формулу для вычисления выносной скорости:

$$W_B = \left[\frac{2gD}{\lambda} \cdot \left(\frac{\rho_B}{\rho_H} - 1 \right) \cdot \sin \alpha \right]^{0,5}, \quad (1)$$

где g - ускорение свободного падения;

D - внутренний диаметр трубопровода;

ρ_B, ρ_H - плотности соответственно воды и нефти;

α - угол наклона трубопровода к горизонту.

Последующие экспериментальные исследования А.К. Галлямова [3] показали, что фактическая скорость выноса водяных скоплений в несколько раз меньше, чем величина, рассчитанная по формуле (1). Чтобы как-то «примирить» теорию и практику, автор [3] ввел в правую часть формулы (1) по-

with a combination of well-set experiments on a metrologically consistent test bench and the subsequent convincing synthesis of the results.

The works of many authors are devoted to the study of the conditions of this process. The first among them was V.K. Kasperovich [1], who, firstly, visually under laboratory conditions observed physical processes occurring in the experimental pipeline when kerosene and its mixture spilled oil spilled on water accumulation, and, secondly, he obtained an approximate formula for calculating the flow rate, providing all their takeaways. Unfortunately, the accuracy of this formula as applied to large-diameter pipes (100 mm and more) is clearly insufficient, since the conditions of the laboratory installation of V.K. Kasperovich does not model the conditions occurring in pipeline practice.

Understanding V.K. Kasperovich formula deficiencies Professor I.A. Charny [2] solved the problem of the removal of water clusters entirely theoretically. For an element of the pipeline with water cluster in the ascending section, he wrote down the equation for the flow specific energy in differential form, and then transformed it, having received as a result a calculation formula for calculating the external velocity:

where g is gravitational acceleration;

D is the internal diameter of the pipeline;

ρ_B, ρ_H are the densities of water and oil, respectively;

α is the angle of the pipeline to the horizon.

Subsequent experimental studies of A.K. Gallyamov [3] showed that the actual velocity of water clusters removal is several times smaller than the value calculated by formula (1). In order to somehow «reconcile» theory and practice, the author [3] introduced the correction coefficient K_B in the right-hand side of formula

правочный коэффициент K_B , для которого по результатам обработки экспериментальных данных получил следующую эмпирическую зависимость:

$$K_B = 0,1 \cdot \left(\frac{v_H}{v_B} \right)^{0,36} \cdot (\sin \alpha)^{-0,33}, \quad (2)$$

где v_H, v_B - кинематические вязкости соответственно нефти и воды.

Даже с поправочным коэффициентом K_B формула (2) остается достаточно простой и удобной для расчетов. Однако она страдает тем же недостатком, что и формула (1): расчеты по ней можно выполнять только для условий, аналогичных условиям лабораторных экспериментов [3], т.е. для трубок диаметрами 10-22 мм.

По этой причине много лет спустя профессор А.К. Галлямов и его ученики предприняли попытку расширить область применения формулы (2), воспользовавшись математическим приемом, называемым «метод асимптотических координат». Суть его заключается в том, чтобы, не прибегая к дополнительным опытам, экстраполировать имеющиеся экспериментальные данные за пределы рассмотренной области. Результатом этих действий стала новая формула для расчета поправочного коэффициента [4]:

$$K_B = 0,564 - 0,133 \lambda n \frac{v_H}{v_B} + \left[2,435 \cdot (\sin \alpha)^{0,27} - 1 \right] \cdot \left(0,065 \lambda n \frac{v_H}{v_B} - 0,278 \right). \quad (3)$$

Однако она также не подтверждена экспериментальными данными, полученными на трубопроводах промышленно значимого диаметра.

На наш взгляд, существенное отличие экспериментальных и рассчитанных по формуле (1) значений выносной скорости связано с неполным учетом всех влияющих факторов при математической постановке задачи о выносе скоплений воды целиком, выполненной профессором И.А. Чарным. В пользу данного предположения свидетельствует такой факт.

В монографии [5], следуя подходу профессора И.А. Чарного, изучали форму

(1), for which, based on the results of experimental data processing, obtained the following empirical dependence:

where v_H, v_B - kinematic viscosities, respectively, of oil and water.

Even with the correction coefficient K_B formula (2) remains quite simple and convenient for calculations. However, it suffers the same drawback as formula (1): it can be calculated only for conditions similar to those of laboratory experiments [3], i.e. for tubes with diameters of 10-22 mm.

For this reason, many years later, Professor A.K. Gallyamov and his students attempted to expand the scope of application of formula (2), using a mathematical technique called the «asymptotic coordinate method». Its essence lies in the fact that, without resorting to additional experiments, to extrapolate the available experimental data beyond the limits of the considered area. The result of these actions was a new formula for calculating the correction factor [4]:

However, it is also not confirmed by experimental data obtained on pipelines of industrially significant diameter.

In our opinion, the essential difference between the experimental and external velocity values calculated by formula (1) is due to the incomplete consideration of all influencing factors in the mathematical formulation of the problem of carrying out all the water clusters performed by Professor I.A. Charniy. In favor of this assumption is evidence of such a fact.

In the monograph [5], following the approach of Professor I.A. Charny, was the shape of the interface on the «oil - water» boundary

поверхности раздела на границе «нефть - вода» и получили, что она является гладкой. Между тем, экспериментально установлено, что даже при относительно небольшой скорости потока на этой границе раздела появляются продольные волны. При увеличении скорости потока в трубопроводе их амплитуда также возрастает. Когда же впадины продольных волн достигают нижней образующей трубы, скопление воды начинает разрушаться. Причем отрываемые «куски» (слаги) весьма велики.

Условия полного выноса скоплений воды потоком перекачиваемой жидкости при другой математической постановке задачи описаны профессором М.В. Лурье в работе [6]. В результате произведенных математических преобразований была получена та же расчетная формула (1), но с поправочным коэффициентом $K_B = 0,367$. С одной стороны, это достижение, т.к. теоретически полученная зависимость приближена к экспериментальным результатам. С другой же стороны, полученный результат противоречит экспериментально установленной в работе [3] закономерности: *величина поправочного коэффициента к выносной скорости, вычисляемой по формуле (1), зависит от кинематической вязкости жидкости, перекачиваемой по трубопроводу*. Соответственно, мы оказываемся перед дилеммой: либо критерием истины является не практика, а теория, либо надо сделать вывод о том, что предложенная в [6] методика расчета скорости выноса скоплений требует доработки.

Следует обратить внимание и на другие обстоятельства. Так, экспериментальная установка, состоящая из насоса топливораздаточной колонки и шланга диаметром 35 мм, на которой были подтверждены теоретические результаты, полученные в работе [6], не моделирует промышленных трубопроводов. Сама методика проведения экспериментов также несовершенна. Так, объем наливаемой в шланг воды не измерялся (ее «наливали с избытком»). Ламинарный режим перекачки, имевший место в установке при работе на дизельном топливе, в магистральных продуктопроводах практически не встречается и т.д.

was studied and it was obtained that it is smooth. Meanwhile, it has been experimentally established that even at a relatively low flow velocity, longitudinal waves appear at this interface. As the flow rate in the pipeline increases, their amplitude also increases. When the depressions of the longitudinal waves reach the lower tube, the accumulation of water begins to collapse. Moreover, the detached «pieces» (slugs) are very large.

The conditions for the complete water clusters removal by pumped liquid flow with a different mathematical formulation of the problem are described by Professor M.V. Lurie in [6]. As a result of the mathematical transformations produced, the same calculation formula (1) was obtained, but with a correction coefficient $K_B = 0.367$. On the one hand, this is an achievement, because theoretically obtained dependence is close to the experimental results. On the other hand, the result obtained contradicts the regularity established experimentally in [3]: *the magnitude of the correction factor to the offset speed calculated by formula (1) depends on the kinematic viscosity of the fluid pumped through the pipeline*. Accordingly, we are faced with a dilemma: either the criterion of truth is not practice, but theory, or we must conclude that the method proposed in [6] for calculating the rate of removal of clusters requires improvement.

Attention should be paid to other circumstances. Thus, the experimental setup, consisting of a pump dispenser and a hose with a diameter of 35 mm, which confirmed the theoretical results obtained in [6], does not simulate industrial pipelines. The very methodology of the experiments is also imperfect. Thus, the volume of water poured into the hose was not measured (it was «poured in excess»). Laminar transfer mode, which took place in the unit when working on diesel fuel, practically does not occur in the main pipelines, etc.

The complexity of the problem to be

Сложность решаемой задачи требует проведения полномасштабных экспериментов. Для этого необходима установка современного экспериментального стенда, отличающегося от ранее использованных диаметрами трубопроводов, возможностями создания различных углов их наклона и скорости движения продукта. При этом применение реального продукта (нефти, дизтоплива и т.д.), несомненно, является одной из основ эксперимента. Создание подобного стенда в настоящее время реализуется в Научно-техническом центре трубопроводного транспорта (Уфа).

Следует также остановиться на требованиях к методологии проведения экспериментов. Автор данной статьи совместно с кандидатом технических наук А.М. Нечвалем [7, 8] в 1980-е годы изучал аналогичный процесс - вынос из трубопровода потоком жидкости скоплений воздуха. Сначала была исследована динамика всплытия воздушных пробок в наклонных трубах, заполненных пятью различными жидкостями, при отсутствии перекачки. Полученные результаты были обработаны в виде зависимости от скорости всплытия крупных пузырей в вертикальных трубах, угла наклона, а также критериев подобия Этвеша и Уоллиса [9]. Затем была изготовлена экспериментальная установка, включающая в себя три соединенных параллельно насоса 2К-6, турбинный расходомер TURBOQUANT и параллельно уложенные стеклянные трубы диаметрами 56, 79 и 105 мм. После соответствующего планирования опытов были проведены эксперименты по изучению скорости движения воздушных пробок в нисходящем потоке дизельного топлива. Полученные результаты позволили получить эмпирическую формулу для расчета искомой величины в зависимости от широкого перечня параметров (включая и кинематическую вязкость жидкости [10]), успешно подтвержденную в промышленных условиях [11]. Только после этого, рассматривая неподвижное состояние воздушного скопления как частный случай движения со скоростью равной нулю, авторы [7, 8] получили формулу для скорости потока, обеспечивающей вынос скопления целиком.

solved requires full-scale experiments. This requires the installation of a modern experimental stand, which differs from the previously used pipe diameters, the possibilities of creating different angles of inclination and speed of the product. At the same time, the use of a real product (oil, diesel fuel, etc.) is undoubtedly one of the foundations of the experiment. The creation of such a stand is currently being implemented at the Scientific and Technical Center for Pipeline Transport (Ufa).

It should also focus on the requirements for the methodology of the experiments. The author of this article together with the Candidate of Engineering Sciences A.M. Nechwalm [7, 8] in the 1980s studied a similar process – the removal of air accumulations from a pipeline by a fluid stream. First, the dynamics of the ascent of air plugs in inclined pipes filled with five different liquids, in the absence of pumping, was investigated. The results obtained were processed as a function of the speed of ascent of large bubbles in vertical pipes, the angle of inclination, and the similarity criteria of Ethves and Wallis [9]. Then an experimental installation was made, including three parallel-connected 2K-6 pumps, a TURBOQUANT turbine flow meter and parallel-laid glass pipes with diameters of 56, 79 and 105 mm. After appropriate planning of experiments, experiments were conducted to study the speed of movement of air plugs in a downward flow of diesel fuel. The results obtained allowed to get an empirical formula for calculating the desired value depending on a wide range of parameters (including the kinematic viscosity of the fluid [10]), which was successfully confirmed under industrial conditions [11]. Only after this, considering the stationary state of the air cluster as a special case of motion with a velocity equal to zero, the authors [7, 8] obtained a formula for the flow velocity ensuring the removal of the cluster as a whole. It is this methodology that would allow to correctly solve the problem of the conditions for the re-

Именно такая методология позволила бы правильно решить и задачу об условиях выноса скоплений воды.

В ходе проведенных нами экспериментов также было установлено, что скопления воздуха выносятся не обязательно в виде единой пробки. При скоростях, меньших выносной, воздух также удаляется, но в виде отдельных пузырьков. В конце концов, при достаточной продолжительности процесса воздушное скопление прекращает свое существование.

Поверхностное натяжение на границе «нефть - вода» примерно в 3 раза меньше, чем на границе «нефть - воздух». Поэтому водяные скопления также будут дробиться при скоростях потока меньших, чем те, при которых дробятся скопления воздуха. Соответственно, картина эволюции водяных скоплений представляется следующей. Пока скорость потока нефти меньше, чем соответствующая дроблению, скопление воды будет присоединять все новые капли и увеличиваться в размерах. Как только соотношение скоростей станет обратным, водяное скопление начнет «таять». При достаточном времени протекания процесса скопление воды исчезнет и без создания выносной W_B скорости. Количественное описание динамики данного процесса также представляет большой интерес, так как он менее энергоемок.

Выводы

1. Неизбежным следствием наличия даже небольшого количества остаточной воды в нефти, закачиваемой в магистральные трубопроводы, является образование ее скоплений в пониженных точках профиля.

2. Неблагоприятное действие данных скоплений проявляется через увеличение расхода энергии на перекачку, внутреннюю коррозию труб, погрешности учета продукта при инвентаризации и т.д.

3. Наиболее технологичным способом удаления водяных скоплений из полости нефтепроводов является их вынос потоком перекачиваемой жидкости. Однако данный процесс изучен еще недостаточно.

4. Создание достоверной методики расчета режимов выноса скоплений воды за

removal of water accumulations.

In the course of our experiments, it was also found that air accumulations are not necessarily removed as a single plug. At speeds less remote, the air is also removed, but in the form of individual bubbles. In the end, with sufficient duration of the process, the air accumulation ceases to exist.

The surface tension at the «oil - water» boundary is about 3 times less than at the «oil - air» border. Therefore, water clusters will also be fragmented at flow velocities lower than those at which air clusters are crushed. Accordingly, the picture of the evolution of water clusters is as follows. As long as the flow velocity of the oil is less than the corresponding crushing, the water cluster will attach all new drops and increase in size. As soon as the ratio of the velocities becomes reverse, the water cluster will begin to «melt». With a sufficient process time, the water cluster will disappear without creating an external W_B velocity. A quantitative description of the dynamics of this process is also of great interest, since it is less energy-intensive.

Conclusion

1. The inevitable consequence of the presence of even a small amount of residual water in the oil pumped into the main pipelines is the formation of its clusters at low profile points.

2. The adverse effect of these clusters manifests itself through an increase in energy consumption for pumping, internal corrosion of pipes, errors in product accounting during inventory, etc.

3. The most technologically advanced method of removing water clusters from the cavity of oil pipelines is their removal by the flow of the pumped liquid. However, this process has not been studied enough.

4. Creating a reliable method for calculating the regimes of water clusters removal

счет использования кинетической энергии потока возможно только при сочетании хорошо поставленных на метрологически состоятельном стенде экспериментов и последующего убедительного обобщения полученных результатов.

through the use of the kinetic energy of the flow is possible only with a combination of experiments set on a metrologically efficient test bench and the subsequent convincing generalization of the results obtained.

Список литературы

1. Касперович В.К. Экспериментальные исследования удаления воды и воздуха из нефтепродуктопроводов: дисс. ... канд. техн. наук. М.: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, 1965. 144 с.
2. Чарный И.А. Влияние рельефа местности и неподвижных включений жидкости или газа на пропускную способность трубопроводов // Нефтяное хозяйство. 1965. № 6. С. 51-55.
3. Галлямов А.К. Исследования по повышению эффективности эксплуатации газонефтепроводов: дисс. ... д-ра техн. наук. Уфа: УНИ, 1973. 384 с.
4. Галлямов А.К., Байков И.Р., Аминев Р.М. Оценка скорости выноса скоплений жидкости из пониженных участков трубопроводных систем // Известия вузов. Сер. Нефть и газ. 1969. № 12. С.73-76.
5. Трубопроводный транспорт нефти в сложных условиях эксплуатации / В.Д. Черняев, А.К. Галлямов, А.Ф. Юкин и др. М.: Недра, 1990. 232 с.
6. Лурье М.В. Удаление скоплений воды из трубопровода потоком перекачиваемой нефти // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 1. С. 63-69.
7. Нечваль А.М. Динамика образования газовых скоплений в трубопроводах и их удаления потоком перекачиваемой жидкости: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа: УНИ, 1991. 168 с.
8. Коршак А.А. Разработка технологии перекачки газонасыщенных нефтей: дисс. ... д-ра техн. наук. М.: ГАНГ нефти и газа им. И.М. Губкина, 1991. 417 с.
9. Коршак А.А., Нечваль А.М., Фролов Ю.А. Скорость всплытия газовых пробок в наклонных трубах // Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Уфа: ВНИИСПТнефть, 1990. С. 24-27.
10. Нечваль А.М., Коршак А.А. Определение относительной скорости газовых скоплений при их выносе потоком перекачиваемой жидкости // Известия вузов. Сер. Нефть и газ. 1991. № 4. С. 74-77.
11. Нечваль А.М., Коршак А.А., Ярыгин Е.Н. Промышленное исследование скорости движения одиночных воздушных пробок в трубопроводе // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 1992. № 5. С. 8-10.

References

1. Kasperovich V.K. *Ekspperimental'nye issledovaniya udaleniya vody i vozdukha iz nefteproduktoprovodov: diss. kand. tekhn. nauk* [Experimental Studies of Water and Air Removal from Oil Product Pipelines: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, MINKh i GP im. I.M. Gubkina, 1965. 144 p. [in Russian].
2. Charnyi I.A. Vliyanie rel'efa mestnosti i nepodvizhnykh vklyuchenii zhidkosti ili gaza na propusknyuyu sposobnost' truboprovodov [The Influence of Terrain and Stationary Inclusions of Liquid or Gas on the Capacity of Pipelines]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 1965, No. 6, pp. 51-55. [in Russian].
3. Gallyamov A.K. *Issledovaniya po povysheniyu effektivnosti ekspluatatsii gazonefteprovodov: diss. d-ra tekhn. nauk* [Research on Improving the Efficiency of Operation of Gas Pipelines: Doctor. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UNI, 1973. 384 p. [in Russian].
4. Gallyamov A.K., Baikov I.R., Aminev R.M. Otsenka skorosti vynosa skoplenii zhidkosti iz ponizhennykh uchastkov truboprovodnykh sistem [Evaluation of the Speed of the Removal of Accumulations of Liquid from the Low-Lying Areas of Pipeline Systems]. *Izvestiya vuzov. Ser. Neft' i gaz - Izvestiya vuzov. Ser. Oil and Gas*. 1969, No. 12, pp.73-76. [in Russian].
5. Chernyaev V.D., Gallyamov A.K., Yukin A.F. e.a. *Truboprovodnyi transport nefiti v slozhnykh usloviyakh ekspluatatsii* [Pipeline Transportation of Oil in Difficult Operating Conditions]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 232 p. [in Russian].
6. Lur'e M.V. Udalenie skoplenii vody iz truboprovoda potokom perekachivaemoi nefiti [Removal of Water Accumulations from the Pipeline with the Help of the Pumped Oil Flow] *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov - Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2017, No. 1, pp. 62-69. [in Russian].
7. Nechval' A.M. *Dinamika obrazovaniya gazovykh skoplenii v truboprovodakh i ikh udaleniya potokom perekachivaemoi zhidkosti: diss. kand. tekhn. nauk* [Dynamics of Formation of Gas Accumulations in Pipelines and Their Removal by the Flow of Pumped Liquid: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UNI, 1991. 168 p. [in Russian].
8. Korshak A.A. *Razrabotka tekhnologii perekachki gazonasyschennykh neftei: diss. d-ra*

tekh. nauk [Development of Technology for Pumping Gas-Saturated Oil: Doctor. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, GANG nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 1991. 417 p. [in Russian].

9. Korshak A.A., Nechval' A.M., Frolov Yu.A. Skorost' vsplytiya gazovykh probok v naklonnykh trubakh [The Ascent Rate of the Gas Tubes in an Inclined Pipe]. *Truboprovodnyi transport nefti i nefteproduktov - Pipeline Transport of Oil and Oil Products*. Ufa, VNIISPTneft', 1990, pp. 24-27. [in Russian].

10. Nechval' A.M., Korshak A.A. Opredelenie otnositel'noi skorosti gazovykh skoplenii pri ikh vynose potokom perekachivaemoi zhidkosti [Determination of the Relative Velocity of the Gas Accumulations in their Removal by the Flow of the Fluid]. *Izvestiya vuzov. Ser. Neft' i gaz - Izvestiya vuzov. Ser. Oil and Gas*. 1991, No. 4, pp. 74-77. [in Russian].

11. Nechval' A.M., Korshak A.A., Yarygin E.N. Promyshlennoe issledovanie skorosti dvizheniya odinochnykh vozdushnykh probok v truboprovode [Industrial Study of the Speed of Movement of Single Air Tubes in the Pipeline]. *Transport i khranenie nefteproduktov - Transportation and Storage of Petroleum Products*, 1992, No. 5, pp. 8-10. [in Russian].

Автор

• Коршак Алексей Анатольевич, д-р техн. наук, профессор
Научно-технический центр «НИИ Транснефть»
Заведующий лабораторией экологии
и разработки ресурсосберегающих технологий
Российская Федерация, 450055, г. Уфа,
пр. Октября, 144/3
e-mail: KorshakAA@niitnn.transneft.ru

The Author

• Korshak Aleksey A., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Scientific and Technical Center «Transneft Research Institute» LLC
Head of the Laboratory of Ecology and Development of Resource-Saving Technologies
144/3, October Ave., Ufa, 450055, Russian Federation
e-mail: KorshakAA@niitnn.transneft.ru