

© А. А. ВАКУЛИН, А. Б. ШАБАРОВ,  
А. Н. ЛИЩУК

Тюменский государственный университет  
aavakulin@mail.ru

УДК 53.08

### **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ\***

### **INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM OF MULTIPHASE FLOWS**

*В работе дано краткое описание информационно-измерительной системы, предназначенной для отработки методов измерения расхода многофазных потоков и метрологического сопровождения многофазных расходомеров. Приведены результаты экспериментальных исследований течения многофазного потока. Представлен перечень перспективных научных и производственных задач применения информационно-измерительной системы на ОАО «ГМС Нефтемаш».*

*The paper gives a brief description of the information and measurement system dealing with the optimization of measurement techniques for flow rate and volume of multiphase flows and metrological support of multiphase flow meters. The results of experimental studies of the multiphase flow are displayed. A list of future-oriented scientific and production tasks for application of information and measurement system in ОАО HMS Neftemash is presented.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Многофазные потоки, многофазные расходомеры, многофазные стенды, газожидкостные смеси, датчики, метрология, испытания, информационно-измерительные системы, автоматизация, LabVIEW.

**KEY WORDS.** Multiphase flows, multiphase flow meters, multiphase stands, liquid-gas mixtures, sensors, metrology, testing, information and measurement systems, automation, LabVIEW.

Задача корректного измерения расхода и компонентного состава многофазного потока весьма актуальна. К наиболее типичным многофазным потокам, широко используемым в промышленности, относятся нефтегазовые смеси, влажный пар, пульпы, пылеугольное топливо, водогрунтовые смеси, низкокипящие

---

\* Выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации проекта по Постановлению Правительства № 218 от 9 апреля 2010 г., по договору № 02. G 25.31.0020 ОАО «ГМС Нефтемаш» совместно с ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет»

криогенные вещества. Трудности обеспечения требуемых показателей точности измерения расхода таких сред [7] обусловлены множеством физических и технических причин. Например, различием скоростей течения фаз через первичные измерительные преобразователи; неоднородностью распределения фаз по сечению потока; значительными флуктуациями скоростей, давлений и концентраций фаз; влиянием температуры на количественный состав фаз. Необходимо проводить систематическое экспериментальное и теоретическое изучение физики и гидродинамики многофазных потоков. Результаты этой работы необходимы для проектирования, создания и функционирования современных многофазных расходомеров (МР).

Экспериментальной базой исследований являются проливные стенды многофазных потоков, на которых можно проводить научные изыскания, испытания опытных образцов МР, а также чисто метрологические работы (например, калибровку и поверку МР) [1, 3, 5]. До недавнего времени в России только в Татарстане (ФГКП ВНИИР, г. Казань), Башкортостане (ОАО «АК «ОЗНА», г. Октябрьский) и Республике Коми (ОАО «Лукойл-Коми», г. Усинск) имелись промышленные проливные стенды, которые можно отнести к многофазным. В 2015 г. в г. Тюмени на ОАО «ГМС Нефтемаш» был создан проливной «Научно-испытательный стенд многофазных потоков» (НИСМП) — эталон расхода многофазного потока 1-го разряда. Стенд был создан в рамках реализации совместного проекта «Разработка и серийный выпуск измерительной установки для учета добываемых нефти и газа на месторождениях, находящихся на стадии завершающей добычи» между ОАО «ГМС Нефтемаш» и ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет» (Постановление Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 г.).

Стенд предназначен для воспроизведения и хранения единицы массового расхода газожидкостных смесей в диапазоне от 0,2 до 100 т/ч и передачи ее размера рабочим эталонам 2-го разряда и рабочим средствам измерений массового расхода газожидкостных смесей. В настоящее время он является самым крупным стендом в России. Его уникальность заключается в том, что с его помощью можно передавать единицу многофазного расхода другим метрологическим установкам непосредственно и/или через устройства сравнения (компараторы). В результате появилась возможность тестировать, калибровать и аттестовывать замерные установки ОАО «ГМС «Нефтемаш» как при их производстве, так и при эксплуатации на нефтяных промыслах. Также, наряду с первичным государственным эталоном, НИСМП можно использовать для проведения независимой экспертизы оборудования отечественного и зарубежного производства, оказания услуг по проверке измерительной техники.

В качестве компонентов многофазного потока на НИСМП применяются Эксол Д 100 (имитация нефти), сжатый воздух (имитация углеводородного газа) и вода. Описание стенда приведено в [3]. Система автоматизации НИСМП [4] была построена на базе высокопроизводительной модульной платформы NI PXIe-8135 (от компании National Instruments), специально предназначенной для создания автоматизированных измерительных и испытательных комплексов. PXI объединяет скорость и производительность шины PCI с расширенными возможностями тактирования и синхронизации в надежном корпусе модульной платформы CompactPCI. В отличие от стандартных средств промышленной автома-

тизации использование высокоскоростных АЦП National Instruments за счет высокой точности и скорости оцифровки позволяет гибко решать очень важные метрологические и чисто научные задачи (например, ставить на стенде эксперименты по моделированию течения многофазных потоков). Результаты этих экспериментов, как уже отмечалось, необходимы промышленности при создании МР. Известно [8 и др.], что изменения наклона скважины и режим течения влияют на профиль потока и замеры, сделанные в центре ствола скважины. Характеристики сложного потока существенно меняются вдоль вертикальной оси ствола скважины. Качественно схожие выводы содержатся в работах [5, 9], посвященных лабораторным исследованиям профиля многофазного потока на термогидродинамическом стенде для моделирования многофазных неизотермических потоков Башкирского государственного университета. В частности, для двухфазного потока (масло + вода) доля каждой фазы в сечении трубы зависит от ее угла наклона (рис. 2).

Очевидно, что результаты такого рода исследований необходимо учитывать при создании МР.

Помимо чисто экспериментальных исследований многофазных потоков проводится их численное моделирование, в том числе с использованием суперкомпьютеров [6, 10]. Результаты численного моделирования необходимо сопоставлять с экспериментом. Это также можно сделать с помощью НИСМП. Таким образом, имеется много фундаментальных и прикладных исследовательских задач, от корректного решения которых зависит отработка современных методов измерения и метрологического обеспечения расхода и количества нефтегазового потока.

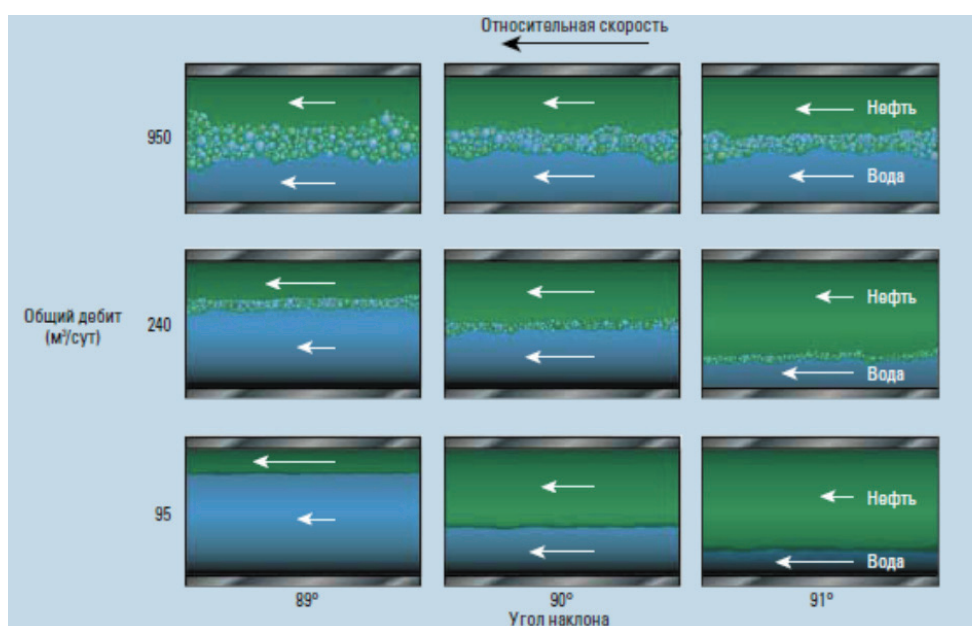


Рис. 1. Зависимость течения многофазного потока в скважине от угла наклона скважины и ее дебита [8]

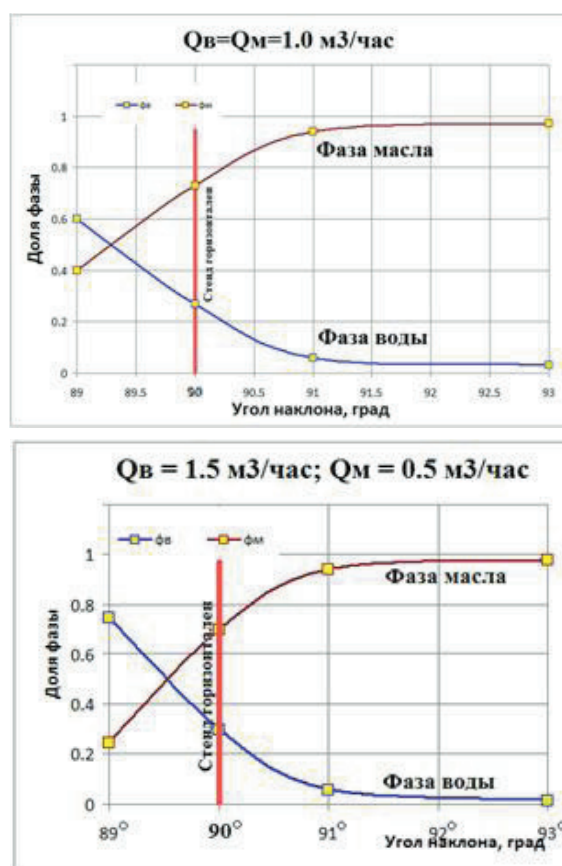


Рис. 2. Пример распределения заполнения сечения трубы от угла наклона [9]

НИСМП — это информационно-измерительная система (ИИС), основными функциями которой являются получение измерительной информации от объекта исследования, ее обработка, передача, представление оператору и (или) компьютеру, запоминание, отображение и формирование управляющих воздействий [2].

Программное обеспечение ИИС-НИСМП написано в среде графического программирования LabVIEW, в котором код выполняется не символьными командами построчно, а с использованием графических символов или объектов, реализующих функции, аналогичные функциям процедур, составленных из символьных команд в других языках программирования. При этом имеется возможность работы как с операционной системой (ОС) Windows, так и с ОС Реального времени (с использованием библиотек LabVIEW Real-Time).

Реализована клиент-серверная архитектура:

- нижний уровень — измерительные преобразователи и исполнительные механизмы в количестве примерно 90 штук. Период опроса датчиков — 200 ms. Обмен по промышленным протоколам Modbus и RS-232 — /422/485;

- средний уровень — многофункциональная платформа с блоками ввода — вывода. Здесь осуществляется сбор и первичная обработка технологической информации, а также управление запорными и регулирующими механизмами. Использовался ПИД-алгоритм регулирования и сеть Ethernet TCP/IP;
- верхний уровень — автоматизированное рабочее место оператора (АРМ), на котором обеспечивается сбор и хранение информации со всех технологических объектов, ее отображение в табличном и графическом виде, в виде мнемосхем, а также ведение архива. SCADA-система реализована с использованием LabVIEW DSC Module.

Скриншот мнемосхемы главного окна на центральном мониторе АРМ при работе НИСМП приведен на рисунке 3.

При наведении компьютерной «мыши» на требуемый объект открывается соответствующее окно (рис. 4).

Внешний вид интерфейса работы оператора с исполнительными механизмами иллюстрируется рисунком 5.

Видно, что имеются широкие возможности как ручного, так и автоматического управления работой исполнительных механизмов (в данном случае, клапана и насоса).

Информационно-измерительная система многофазных потоков обеспечивает:

- работу научно-испытательного стенда в ручном и автоматическом режимах;
- формирование гидравлической схемы путем открытия и закрытия запорно-регулирующей арматуры;
- прием, обработку, хранение, индикацию измерительной, сигнальной и управляющей информации;

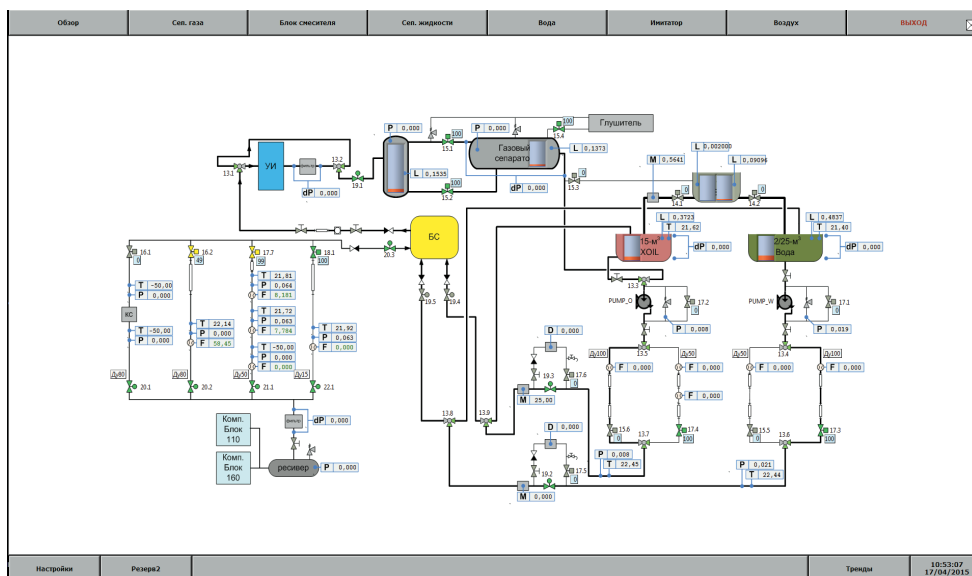


Рис. 3. Скриншот мнемосхемы главного окна НИСМП

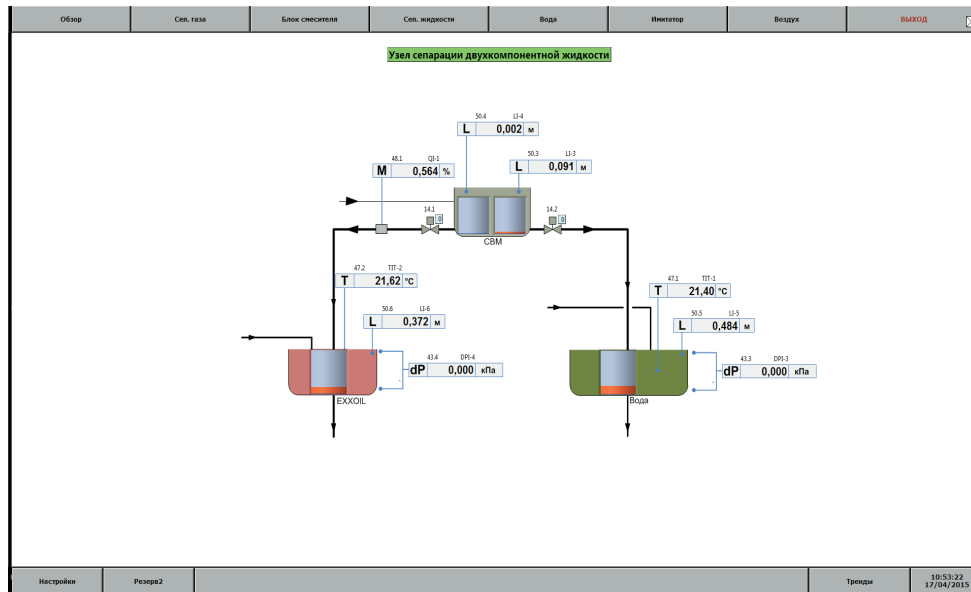


Рис. 4. Скриншот мнемосхемы окна НИСМП «Узел сепарации двухкомпонентной жидкости»

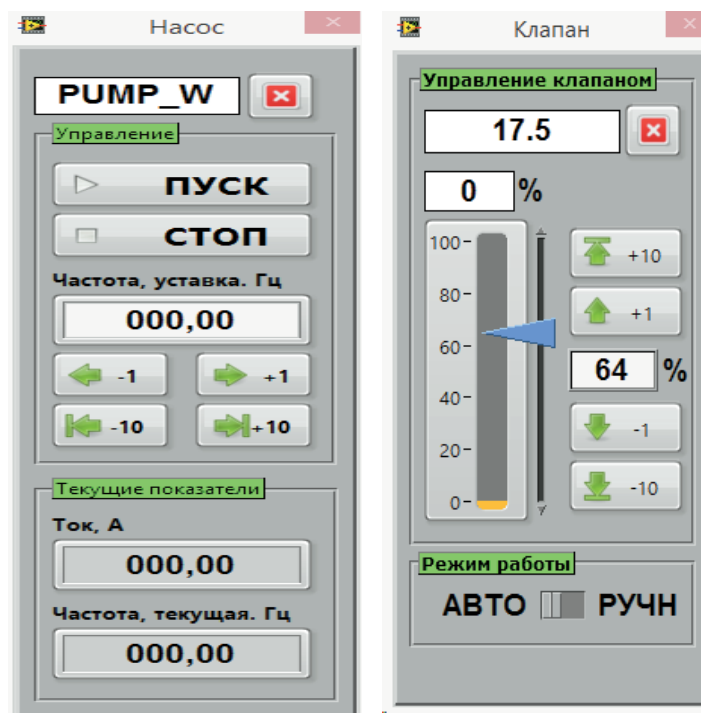


Рис. 5. Интерфейс работы с клапаном и насосом

- прием, обработку, индикацию и хранение информации, выдаваемой поверяемому средству измерений (СИ);
- формирование и печать протоколов установленной формы;
- синхронизацию сигналов измерительной информации, поступающих от поверяемого СИ и СИ, входящего в состав НИСМП;
- ручной ввод значений условно-постоянных параметров с пульта управления;
- ручное и дистанционное управление электро- и пневмоприводами кранов и клапанов;
- формирование обобщенного сигнала аварии при отклонениях от нормальных режимов работы оборудования.
- расшифровку сигнала на месте по конкретным признакам аварии;
- включение (при необходимости) тревожной сигнализации и передачу сигнала об аварии в систему телемеханики.

### **Выводы**

Созданный на ОАО «Нефтемаш» стенд и представленная в данной работе информационно-измерительная система многофазных потоков позволяют ставить и решать актуальные для науки и практики задачи (включая развитие концепции интеллектуальных измерительных систем; создание многофазных расходомеров с повышенными метрологическими характеристиками; изучение возможностей использования новых компонентов и физических принципов для измерения водной и углеводородной фаз; исследование влияния проскальзывания фаз, неравномерности параметров фаз в пределах сечений; пространственное расположение скважин и трубопроводов) на обобщенные опытные данные и идентификационные параметры, создание и тестирование недорогих многофазных расходомеров для установки на кустовых площадках.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вакулин А. А. Экспериментальный стенд для изучения течения многофазных потоков при различных температурах / А. А. Вакулин, Е. А. Хамов // Вестник ТюмГУ. 2010. № 6. С. 75-79.
2. Вакулин А. А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля / А. А. Вакулин. Тюмень: Издательство ТюмГУ, 2010. 256 с.
3. Вакулин А. А. Научно-испытательный стенд многофазных потоков. Химическое и нефтегазовое машиностроение / А. А. Вакулин, Е. В. Голубев, В. В. Котлов, А. Н. Лищук, С. Г. Никулин, Н. Б. Филиппова. 2014. № 12. С. 13-16
4. Вакулин А. А. Автоматизация научно-испытательного стенда многофазных потоков. Наука и бизнес: пути развития / А. А. Вакулин, Е. В. Голубев, В. В. Котлов, А. Н. Лищук, С. Г. Никулин, Н. Б. Филиппова. 2014. № 12(42). С. 87-92.
5. Валиуллин Р. А. Тестирование скважинной аппаратуры на стенде — как обязательный элемент испытания при разработке и передаче её в производство / Р. А. Валиуллин, Р. К. Яруллин, А. Р. Яруллин // Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 300-308.
6. Вершинин В. Е. Численное моделирование структур газожидкостного течения. Перспективы науки / В. Е. Вершинин, Р. М. Ганопольский, А. И. Варавва, В. О. Поляков. 2013. № 11 (50). С. 94-101.



7. ГОСТ Р 8.615-2005 ГСИ. «Измерения количества извлекаемых из недр нефти и нефтяного газа. Общие метрологические и технические требования».
8. Промысловый каротаж в горизонтальных скважинах с многофазным потоком. URL: [http://www.slb.ru/userfiles/file/2013/215x280\\_Flow\\_scanner\\_\\_1225upd.pdf](http://www.slb.ru/userfiles/file/2013/215x280_Flow_scanner__1225upd.pdf).
9. Яруллин А. Р. Экспериментальное исследование многофазных потоков на модели горизонтальной скважины: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А. Р. Яруллин. Уфа. 2013.
10. Vershinin V. E. Numerical Modeling of Two-Dimensional Gas-Liquid Flow Structures / V. E. Vershinin, R. M. Ganopolsky, V. O. Polyakov // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. No 2. P. 24

#### REFERENCES

1. Vakulin A. A., Hamov E. A. Eksperimental'nyj stend dlja izuchenija techenija mnogofaznyh potokov pri razlichnyh temperaturah [Experimental Stand for Studying of the Multiphase Streams Current at Various Temperatures] // Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta [Tyumen State University Herald]. 2010. No 6. Pp. 75-79. (In Russian)
2. Vakulin A. A. Metody i sredstva izmerenij, ispytanij i kontrolja [Methods and Tools for Measuring, Testing and Control]. Tyumen: Izdatel'stvo TjumGU [Tyumen State University Publishing House], 2010. 256 p. (In Russian)
3. Vakulin A. A., Golubev E. V., Kotlov V. V., Lishchuk A. N., Nikulin S. G., Filippova N. B. Nauchno-ispytatel'nyj stend mnogofaznyh potokov [Research and Test Bench for Multiphase Flows] // Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie [Chemical and Petroleum Engineering]. 2014. No 12. Pp. 13-16. (In Russian)
4. Vakulin A. A., Golubev E. V., Kotlov V. V., Lishchuk A. N., Nikulin S. G., Filippova N. B. Avtomatizacija nauchno-ispytatel'nogo stenda mnogofaznyh potokov [Automation of Scientific Test Unit for Multiphase Flows.] // Nauka i biznes: puti razvitija [Science and Business: Ways of Development]. 2014. No 12 (42). Pp. 87-92. (In Russian)
5. Valiullin R. A., Yarullin R. K., Yarullin A. R. Testirovanie skvazhinnoj apparatury na stende — kak objazatel'nyj element ispytaniya pri razrabotke i peredache ejo v proizvodstvo [Testing Well Tools on the Stand as an Obligatory Checking Stage of Development and Manufacturing Application] // Neftegazovoe delo [Oil and Gas Business]. 2012. No 3. Pp. 309-316. (In Russian)
6. Vershinin V. E., Ganopolskij R. M., Varavva A. I., Poljakov V. O. Chislennoe modelirovanie struktur gazozhidkostnogo techenija [Numerical Modeling of Structures of Gas-Liquid Current] // Perspektivy nauki [Science Prospects]. 2013. No 11 (50). Pp. 94-101. (In Russian)
7. GOST R 8.615-2005 GSI. Izmerenija kolichestva izvlekaemyh iz neдр нефти i нефтяного газа. Obshhie metrologicheskie i tehicheskie trebovaniya [The Measuring of Quantity of Taken from Bowels Oil and Oil Gas. General Metrological and Technical Requirements]. (In Russian)
8. Promyslovij karotazh v gorizontaľnyh skvazhinah s mnogofaznym potokom [Production Logging in Horizontal Wells with Multi-phase Flow]. [http://www.slb.ru/userfiles/file/2013/215x280\\_Flow\\_scanner\\_\\_1225upd.pdf](http://www.slb.ru/userfiles/file/2013/215x280_Flow_scanner__1225upd.pdf). (In Russian)
9. Yarullin A. R. Eksperimental'noe issledovanie mnogofaznyh potokov na modeli gorizontaľnoj skvazhini: avtoref. diss. kand [Experimental Research of Multiphase Flows with the Model of the Horizontal Well: Abstract of Diss. Cand. Sci. (Engin.)]. Ufa. 2013. (In Russian)



10. Vershinin V. E., Ganopolsky R. M., Polyakov V. O. Numerical Modeling of Two-Dimensional Gas-Liquid Flow Structures. *Modern Applied Science*. 2015. Vol. 9. No 2. P. 43.

#### Авторы публикации

**Вакулин Александр Анатольевич** — доктор технических наук, профессор кафедры механики многофазных систем Тюменского государственного университета

**Шабаров Александр Борисович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики многофазных систем Физико-технического института Тюменского государственного университета

**Лищук Александр Николаевич** — директор по НИОКР бизнес-единицы «Нефтегазовое оборудование» ООО «УК «Группа ГМС»

#### Authors of the publication

**Alexandr A. Vakulin** — Dr. Sci. (Engin.), Professor at the Department of Multiphase Systems Mechanics, Tyumen State University

**Alexandr B. Shabarov** — Dr. Sci. (Engin.), Professor at the Department of Multiphase Systems Mechanics, Physics and Technical Institute, Tyumen State University

**Alexandr N. Lishchuk** — Director of R & D Business Unit Oil and Gas Equipment LLC MC HMS Group