

**DOI 10.25689/NP.2019.2.174-183**

**УДК 622.276.8**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕСОРБЦИИ СЕРОВОДОРОДА ИЗ НЕФТИ**

**<sup>1</sup>Ануфриев А.А., <sup>1</sup>Шаталов А.Н., <sup>1</sup>Шипилов Д.Д., <sup>1</sup>Соловьев В.В.,**

**<sup>1</sup>Сахабутдинов Р.З., <sup>2</sup>Ибрагимов Н.Г.**

**<sup>1</sup> Институт «ТатНИПИнефть»**

**<sup>2</sup>ПАО «Татнефть» имени В.Д.Шашина**

## **IMPROVED EFFICIENCY OF HYDROGEN SULFIDE STRIPPING**

**<sup>1</sup>Anufriev A.A., <sup>1</sup>Shatalov A.N., <sup>1</sup>Shipilov D.D., <sup>1</sup>Solovyov V.V.,**

**<sup>1</sup>Sakhabutdinov R.Z., <sup>2</sup>Ibragimov N.G.**

**<sup>1</sup>TatNIPIneft Institute**

**<sup>2</sup>PJSC TATNEFT**

**E-mail: anaa@tatnipi.ru**

**Аннотация.** Современные требования, предъявляемые к качеству товарной нефти, способствуют разработке новых и совершенствованию существующих технологий ее подготовки. Интенсификация десорбции сероводорода с помощью ультразвукового воздействия является одним из направлений при разработке новых технологий очистки нефти.

Были проведены экспериментальные исследования определения эффективности применения ультразвукового излучения при различных условиях. С повышением температуры эффективность возрастает, причем наиболее существенно для нефти с высокой вязкостью. При вязкости нефти более 400 мПа·с увеличение удельной акустической мощности практически не влияет на снижение содержания сероводорода, тогда как при вязкости менее 150 мПа·с повышение мощности от 100 до 200 кВт/м<sup>3</sup> позволяет интенсифицировать выделение сероводорода из жидкой фазы примерно в два раза. Увеличение продолжительности воздействия на нефть ультразвуковых волн также способствует более полной десорбции сероводорода из нефти. Однако, увеличение продолжительности и удельной акустической мощности не всегда является экономически оправданным. Оптимальным является воздействие на нефть в течение 4-17 минут с удельной акустической мощностью 10-50 кВт/м<sup>3</sup>.

Согласно полученным результатам установлено, что ультразвуковая обработка позволяет улучшить процесс перехода сероводорода из нефти в газовую фазу и может

использоваться на горячих ступенях сепарации с целью снижения расхода реагента-нейтрализатора сероводорода.

**Ключевые слова:** сероводород, ультразвуковое воздействие, интенсификация сепарации, десорбция сероводорода

**Abstract.** Current requirements to stock tank oil quality promote development and improvement of oil treatment technologies. One of the promising methods is enhancement of hydrogen sulfide stripping via ultrasonic treatment.

Experimental studies have been carried out to determine the efficiency of ultrasonic radiation under various conditions. The efficiency increases with temperature growth, especially for high-viscosity oils. For oil viscosity over 400 MPa·s, specific sound power increase has little or no impact on H<sub>2</sub>S stripping, while in case of viscosity below 150 MPa·s increase of sound power from 100 to 200 kW/m<sup>3</sup> enhances hydrogen sulfide separation twofold. Increase of ultrasonic exposure time also contributes to a more complete H<sub>2</sub>S removal. However, increase of exposure time and specific sound power is not always economically viable. An optimum exposure time is from 4 to 17 minutes at specific sound power of 10-50 kW/m<sup>3</sup>.

The obtained results show that ultrasonic oil treatment improves transition of hydrogen sulfide from oil to the gas phase and can be used at thermal stages of separation to reduce consumption of H<sub>2</sub>S chemical scavenger.

**Key words:** hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), ultrasonic treatment, separation enhancement, H<sub>2</sub>S stripping

Увеличение объемов добычи сероводородсодержащей нефти, а также необходимость соблюдения требований ГОСТ 51858-2003 «Нефть. Общие технические условия» по содержанию сероводорода вынуждают нефтяные компании внедрять на своих объектах технологии очистки от H<sub>2</sub>S. Вследствие актуальности данной проблемы активно ведутся работы по совершенствованию существующих методов удаления сероводорода из нефти [1-3], а также поиску новых способов.

Перспективным направлением представляется использование ультразвукового воздействия на нефть на стадии горячей сепарации для удаления из ее состава растворенных газов, включая сероводород. Ультразвук в промышленности используется уже относительно давно, примерно с середины 20-го века. С помощью ультразвуковых волн

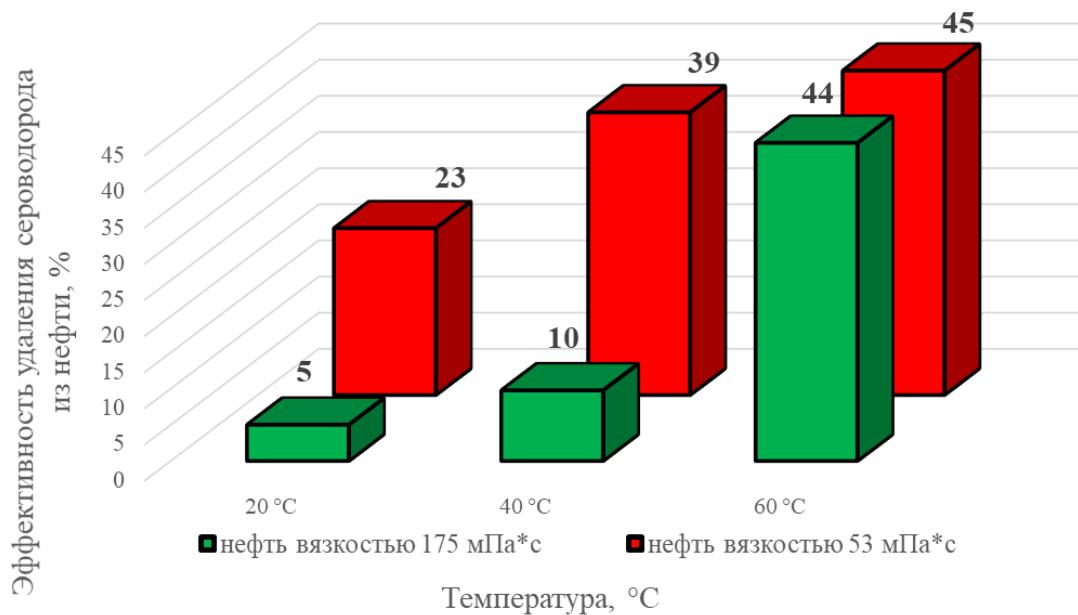
проводят диспергирование, растворение, пропитку, резку, склейку и сварку различных материалов и сред. Установлено, что ультразвук интенсифицирует процесс десорбции растворенных газов из воды, однако данных по его эффективности для удаления газов, в частности и сероводорода из нефти, в технической литературе крайне мало.

Процесс десорбции сероводорода из нефти в газовую фазу с помощью ультразвуковых волн зависит от многих параметров, таких как физико-химические свойства среды, термобарические условия, время обработки, удельная акустическая мощность, интенсивность и частота ультразвука.

Для определения влияния вышеперечисленных параметров на процесс десорбции сероводорода из нефти были проведены экспериментальные исследования. Нефть наливали в герметичную емкость и термостатировали до достижения требуемой температуры и стабилизации значений массовой доли сероводорода в пробе, что свидетельствовало о достижении равновесных условий; далее определяли содержание сероводорода в нефти, принимая его за исходное значение. Объем газа, образующийся в процессе термостатирования нефти, отводили в герметичную емкость, термостатированную нефть обрабатывали ультразвуком и определяли конечную массовую долю сероводорода. В качестве основного показателя эффективности удаления сероводорода из нефти принималось отношение разницы между исходной и конечной (после обработки ультразвуком) массовыми долями сероводорода к исходной массовой концентрации, выраженное в процентах.

Проведенные исследования показали, что эффективность удаления сероводорода из нефти с помощью ультразвука существенно зависит от температуры. После проведения сепарации последующее воздействие на нефть ультразвуком частотой 50 кГц и удельной акустической мощностью 200 кВт/м<sup>3</sup> позволяет дополнительно снизить содержание сероводорода в

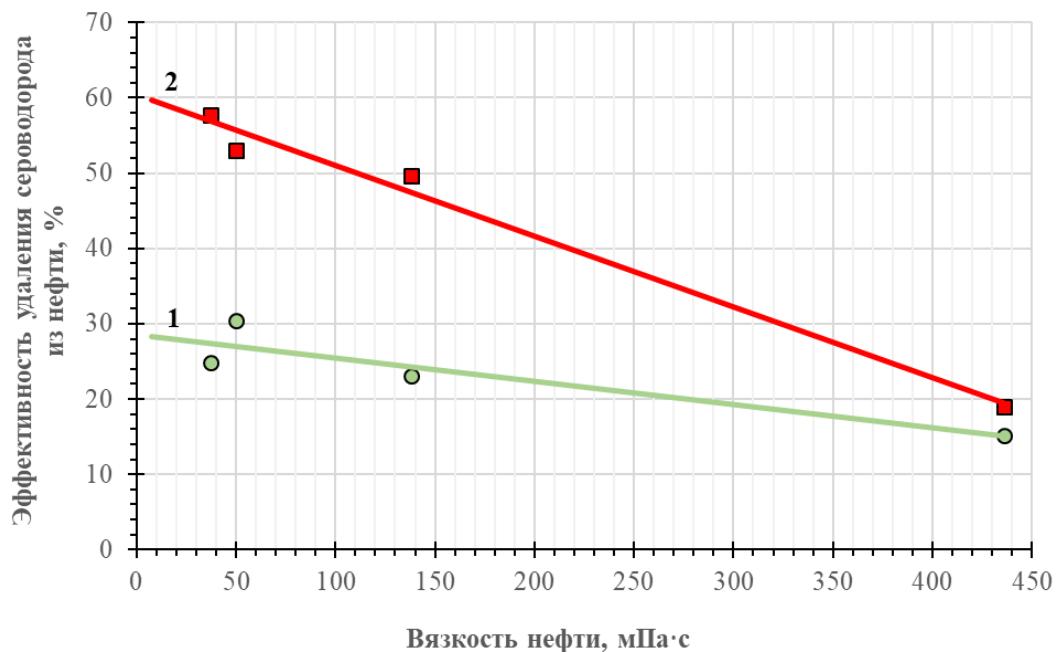
нефти на 5-45 % в зависимости от вязкости (Рис. 1.). С повышением температуры эффективность возрастает, причем наиболее существенно для нефти с высокой вязкостью.



*Рис. 1. Эффективность снижения массовой доли сероводорода в нефти за счет воздействия ультразвука при различных термобарических условиях (частота ультразвука 50 кГц, время воздействия 5 мин)*

Вязкость нефти является одним из существенных факторов, оказывающих влияние на эффективность десорбции сероводорода. С увеличением вязкости возрастает поглощение звуковых волн, что приводит к существенному снижению амплитуды ультразвуковых колебаний и энергии, которую они несут по мере удаления от источника. Так, увеличение вязкости с 50 до 400 мПа·с приводит к снижению эффективности удаления сероводорода из нефти примерно в два раза (Рис. 2). Следует отметить, что при вязкости нефти более 400 мПа·с увеличение удельной акустической мощности практически не влияет на снижение содержания сероводорода, тогда как при вязкости менее 150 мПа·с повышение мощности от 100 до 200 кВт/м<sup>3</sup> позволяет

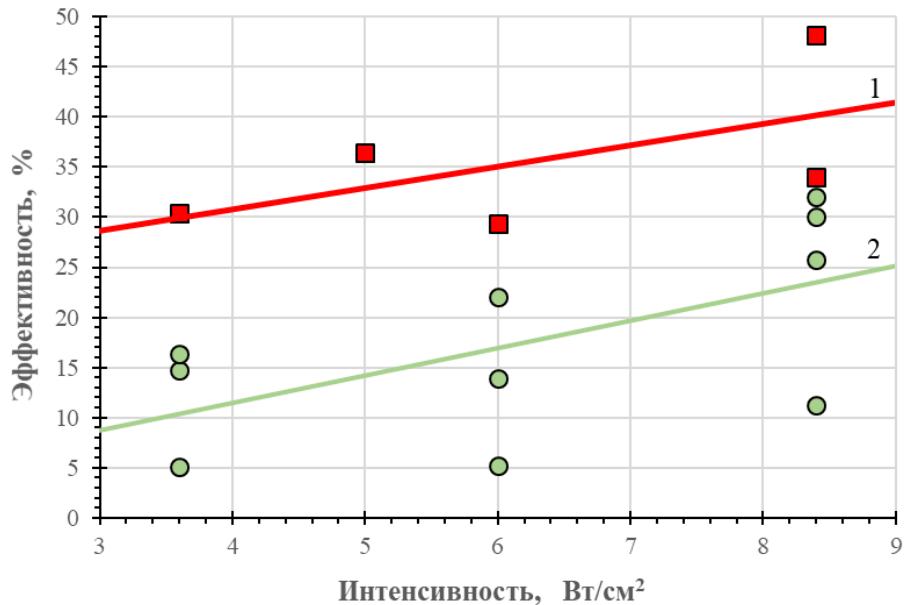
интенсифицировать выделение сероводорода из жидкой фазы примерно в два раза. Эксперименты проводились при температуре нагрева нефти 60°C, атмосферном давлении, частоте ультразвука 50 кГц. Время воздействия составило 5 мин.



*Рис. 2. Зависимость эффективности удаления сероводорода от вязкости нефти  
1,2 – удельная акустическая мощность 100 и 200 кВт/м<sup>3</sup>*

Энергетическим параметром ультразвука, влияющим на процесс удаления растворенных газов из жидкости, является интенсивность. Для определения степени влияния интенсивности ультразвукового излучения на процесс десорбции сероводорода из нефти проведены исследования с удельной акустической мощностью 50 кВт/м<sup>3</sup>, частотой 100 кГц при температуре 60 °С и атмосферном давлении на двух типах нефти с различной вязкостью (175 и 53 мПа·с).

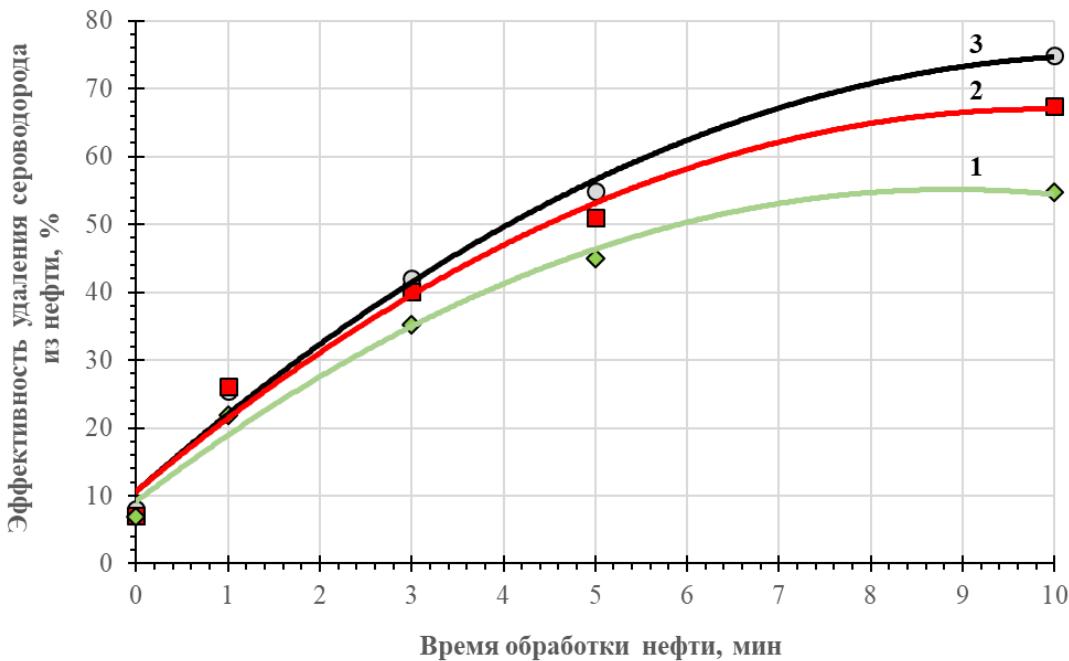
Четкой зависимости эффективности десорбции сероводорода из нефти от интенсивности ультразвукового воздействия по результатам экспериментов не было обнаружено, однако в целом прослеживается тенденция ее увеличения с повышением интенсивности (см. рис. 3). Так, с ростом интенсивности на 3 Вт/см<sup>2</sup> эффективность увеличивается на 5-7 %.



*Рис. 3. Влияние интенсивности ультразвукового воздействия на эффективность снижения сероводорода в нефти*

1, 2 – нефть вязкостью 53 и 175 мПа·с

Эффективность десорбции сероводорода существенно зависит от времени ультразвукового воздействия. Сепарация нефти в лабораторных условиях при атмосферном давлении и температуре 60 °С позволила снизить массовую долю сероводорода примерно на 7 % (Рис. 4). Последующее воздействие ультразвуковых волн на нефть в течение 1 мин увеличивает эффективность примерно на 20-25 % и практически не зависит от удельной мощности. С увеличением продолжительности воздействия ультразвука эффективность десорбции сероводорода возрастает тем больше, чем выше удельная акустическая мощность. При времени обработки нефти ультразвуком в течение 10 мин и удельной мощности 150 кВт/м<sup>3</sup> содержание сероводорода снижается на 75 %, тогда как при удельной мощности 50 кВт/м<sup>3</sup> эффективность очистки составляет 55 %.

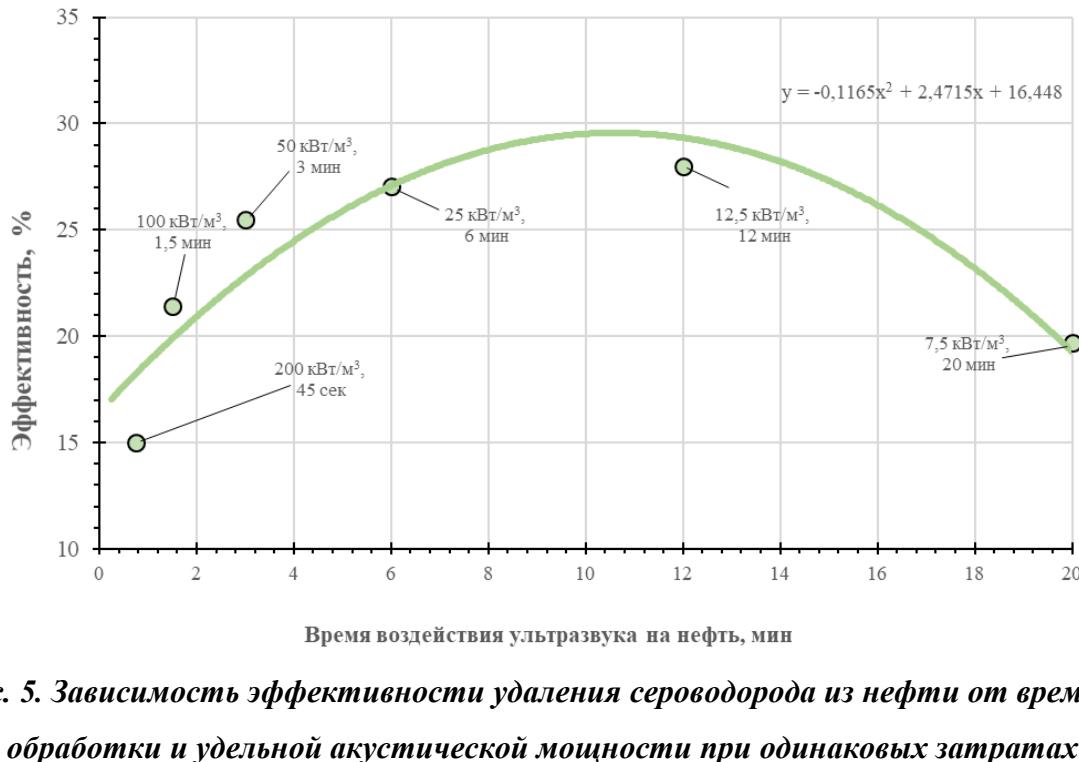


**Рис. 4. Зависимость эффективности удаления сероводорода из нефти от времени обработки ультразвуком**

1, 2, 3 – удельная акустическая мощность 50, 100 и 150 кВт/м<sup>3</sup>

Несмотря на существенное снижение сероводорода в нефти, обработка ультразвуком большой акустической мощности не всегда является оправданной. Как видно из рис. 5, при одинаковых затратах электроэнергии оптимальным является воздействие на нефть ультразвуковых волн в течение 4-17 минут с удельной акустической мощностью 10-50 кВт/м<sup>3</sup>. С уменьшением продолжительности воздействия эффективность десорбции сероводорода уменьшается, несмотря на увеличение удельной акустической мощности. Это связано с тем, что времени для перехода сероводорода из жидкой фазы в газовую недостаточно. Процесс является инерционным, сопровождается зарождением газового пузырька, его увеличением и всплытием к поверхности раздела фаз жидкость-газ. Интенсивное действие ультразвука за короткий промежуток времени не дает процессу полностью завершиться и часть зародившихся пузырьков газа схлопывается в слое жидкости. В свою очередь воздействие на нефть ультразвуком малой мощности

(менее 7,5 кВт/м<sup>3</sup>) не обеспечивает интенсивное зарождение газовых пузырьков, что также снижает эффективность процесса.



**Рис. 5. Зависимость эффективности удаления сероводорода из нефти от времени обработки и удельной акустической мощности при одинаковых затратах электроэнергии**

Проведенные исследования показали возможность использования ультразвуковых волн для интенсификации удаления сероводорода из нефти. Определены основные зависимости эффективности снижения сероводорода от вязкости нефти, термобарических условий, удельной акустической мощности, времени обработки и интенсивности ультразвука. Данный способ может использоваться для увеличения эффективности сепарации нефти на горячих ступенях с целью снижения расхода реагента-нейтрализатора сероводорода.

### Список литературы

- Повышение эффективности безреагентных методов очистки нефти от сероводорода / Н.Г. Ибрагимов, А.Н. Шаталов, Р.З. Сахабутдинов, Д.Д. Шипилов, А.А. Ануфриев, Р.М. Гарифуллин // Нефтяное хозяйство. — 2017. — № 6. — С. 58–61.

2. Совершенствование физических методов удаления сероводорода из нефти / Р.З. Сахабутдинов, А.А. Ануфриев, А.Н. Шаталов, Д.Д. Шипилов // Экспозиция Нефть Газ. — 2017. — № 3. — С. 39-41.
3. Выбор оптимальной схемы очистки нефти от сероводорода на УПВСН «Кутема» НГДУ «Нурлатнефть» / А.Н. Шаталов, А.А. Ануфриев, Р.М. Гарифуллин, Р.З. Сахабутдинов, Д.Д. Шипилов, Р.Р. Ахмадуллин, С.С. Гафиатуллин // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ОАО "Татнефть". — 2011. — Вып. 79. — С. 310-314.

### References

1. N.G. Ibragimov, A.N. Shatalov, R.Z. Sakhabutdinov, D.D. Shipilov, A.A. Anufriev, R.M. Garifullin *Povyshenie effektivnosti bezreagentnyh metodov ochistki nefti ot serovodoroda* (Improvement of nonchemical H<sub>2</sub>S stripping efficiency). *Neftyanoye Khozaistvo*, 2017, No. 6, pp. 58-61 (in Russian)
2. R.Z. Sakhabutdinov, A.A. Anyfriev, A.N. Shatalov, D.D. Shipilov *Sovershenstvovanie fizicheskikh metodov udaleniya serovodoroda iz nefti* (Improvement of physical methods of H<sub>2</sub>S stripping). *Ekspoziciya Neft Gaz*, 2017, No. 3, pp. 39-41 (in Russian)
3. A.N. Shatalov, A.A. Anufriev, R.M. Garifullin, R.Z. Sakhabutdinov, D.D. Shipilov, R.R. Akhmadullin, S.S. Gafiyatullin *Vybor optimal'noj skhemy ochistki nefti ot serovodoroda na UPVSN "Kutema" NGDU Nurlatneft'* (Selection of optimum H<sub>2</sub>S stripping pattern at Kutema treatment facility). Collection of research papers, TatNIPIneft-PJSC TATNEFT. 2011, No. 79, pp. 310-314 (in Russian)

### **Сведения об авторах**

*Ануфриев Андрей Анатольевич*, научный сотрудник института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: anaa@tatnipi.ru

*Шаталов Алексей Николаевич*, кандидат технических наук, заведующий лабораторией института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: shatalov@tatnipi.ru

*Шипилов Дмитрий Дмитриевич*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: shipilov@tatnipi.ru

*Соловьев Валерий Владимирович*, инженер института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: svv@tatnipi.ru

*Сахабутдинов Рифхат Зиннурович*, доктор технических наук, директор института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: rifkat@tatnipi.ru

*Ибрагимов Наиль Габдулбариевич*, доктор технических наук, первый зам. генерального директора по производству-главный инженер ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: tnr@tatneft.ru

### **Authors**

*Anufriev A.A.*, Research Engineer, TatNIPIneft Institute, Bugulma, Tatarstan, Russian Federation  
E-mail: anaa@tatnipi.ru

*Shatalov A.N.*, PhD, Head of Laboratory, TatNIPIneft Institute, Bugulma, Tatarstan, Russian Federation  
E-mail: shatalov@tatnipi.ru

*Shipilov D.D.*, PhD, Senior Researcher, TatNIPIneft Institute, Bugulma, Tatarstan, Russian Federation  
E-mail: shipilov@tatnipi.ru

*Solovyov V.V.*, Engineer, TatNIPIneft Institute, Bugulma, Tatarstan, Russian Federation  
E-mail: svv@tatnipi.ru

*Sakhabutdinov R.Z.*, Dr.Sc, Director of TatNIPIneft Institute, Bugulma, Tatarstan, Russian Federation  
E-mail: rifkat@tatnipi.ru

*Ibragimov N.G.*, Dr.Sc, First Deputy General Director for Production, Chief Engineer of PJSC TATNEFT, Almeteyevsk, Tatarstan, Russian Federation  
E-mail: tnr@tatneft.ru

**Ануфриев Андрей Анатольевич**  
**423236, Российская Федерация, Республика Татарстан**  
**г. Бугульма, ул. Мусы Джалиля, 32**  
**тел.: 8 (85594) 78 541**  
**E-mail: anaa@tatnipi.ru**