

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2020.1.205-216>

УДК 665.7.035

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
ПОЛИМЕРНЫХ ДОБАВОК ПРИ ТРУБОПРОВОДНОМ
ТРАНСПОРТЕ УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Дусметова Г.И., Харитонов Е.В., Бурова Г.О., Байбекова Л.Р.,
Шарифуллин А.В.**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

**DEVELOPMENT OF COMPARATIVE EVALUATION METHODS
POLYMERIC ADDITIVES AT PIPELINE HYDROCARBON
TRANSPORT**

**G.I. Dusmetova, E.V. Kharitonov, G.O. Burova, L.R. Baybekova,
A.V. Sharifullin**

Kazan National Research Technological University

E-mail: kharitonov.eve@list.ru

Аннотация. Разработана методика сравнительной оценки эффективности действия противотурбулентных присадок. Проведены результаты исследования разработанной присадки NAVA, и промышленно-применяемых присадок на увеличение пропускной способности нефтей и нефтяных эмульсий НГДУ «Азнакаевнефть» с водосодержанием от 10 до 40 %. Обнаружено, что с увеличением водосодержания происходит снижение эффективности присадки Baker Hughes по отношению присадок серии NAVA. Присадка NAVA была приготовлена путем компаундирования низкомолекулярных полимеров и ПАВ при добавке наночастиц оксида алюминия.

Ключевые слова: нефтяная эмульсия, транспорт, противотурбулентная присадка, лабораторная установка, программа

Abstract. A methodology has been developed for a comparative assessment of the effectiveness of anti-turbulent additives. The results of the research from developed NAVA additive and industrially applied additives to increase the throughput capacity of oils and oil emulsions of Oil and Gas production department «Aznakaevneft» with a water content

of 10 to 40 % are carried out. Was found that increases in water content, the effectiveness of the Baker Hughes additive decreasing with toward to the additives of the NAVA series. The NAVA additive was prepared by compounding low molecular weight polymers and surfactants with the addition of alumina nanoparticles.

Keywords: oil emulsion, transport, anti-turbulent additive, laboratory installation, program

Введение

Противотурбулентные присадки, предназначенные для снижения гидравлического сопротивления и увеличения пропускной способности трубопровода, получили широкое распространение в сырьевых компаниях РФ [1-2]. Существующие экспериментальные данные исследований противотурбулентных присадок (ПТП) показывают, что увеличение молекулярной массы свыше 1 – 2 млн. единиц эффективно при перекачке дистиллятных фракций. Однако в работах [3-4] описывалось, что увеличение молекулярной массы полимера приводит к ускоренному разрушению их в насосных агрегатных перекачивающих станциях. Вследствие чего возникает необходимость подпитки трубопроводной сети ПТП на выходе с перекачивающих станций. Дополнительно применение таких составов на вязких углеводородах нецелесообразно в связи с отсутствием турбулентного режима течения потока в трубопроводной системе. Так в работе рассмотрено применение полимерных присадок на базе низкомолекулярного полиэтилена и выявлено, что их эффективность выше промышленных ПТП.

Целью данной работы является оценка эффективности структурно-механической устойчивости энергосберегающих присадок, которые предназначены для увеличения пропускной способности трубопроводов на нефтяных эмульсиях ПАО «Татнефть». Состав нефти для приготовления эмульсии приведен в работе [5].

Интерес к изучению молекулярных комплексов связан с тем, что межмолекулярные взаимодействия играют исключительно важную роль в понимании кинетики химических реакций, процессов растворения и

адсорбции, эффектов самоорганизации молекул и образования супрамолекулярных систем с необычными физико-химическими свойствами. Поэтому исследование явлений, обусловленных слабыми внутри- и межмолекулярными взаимодействиями, представляет собой одну из актуальных задач современной химической и молекулярной физики.

Теоретическая часть

На заводах изготовителях ПТП в Республике Татарстан для ПАО «Транснефть» используется методика оценки, подразумевающая двукратный пропуск раствора ПТП в гексане на турбулентном реометре в сравнении с эталонными показателями эффективности, который получил название как эффект Томса (ВЭТ) или DR (Drag reduction). В то время как на перекачивающих насосных станциях ПАО «Транснефть» последовательно установлены по 3-4 магистральных центробежных насоса двустороннего действия с одним рабочим колесом. И следует, что средняя условная молекула ПТП проходит 6-8 точек сильного механического воздействия на полимер от действия рабочего колеса – 6-8 пропусков.

Результаты базовых исследований промышленных ПТП представлены на рис. 1 и 2.

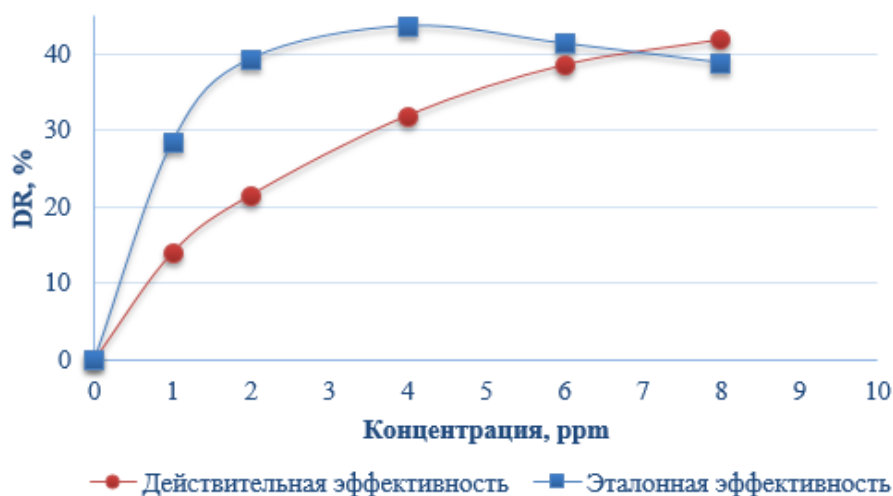


Рис. 1. Первое пропускание раствора ПТП через турбулентный реометр

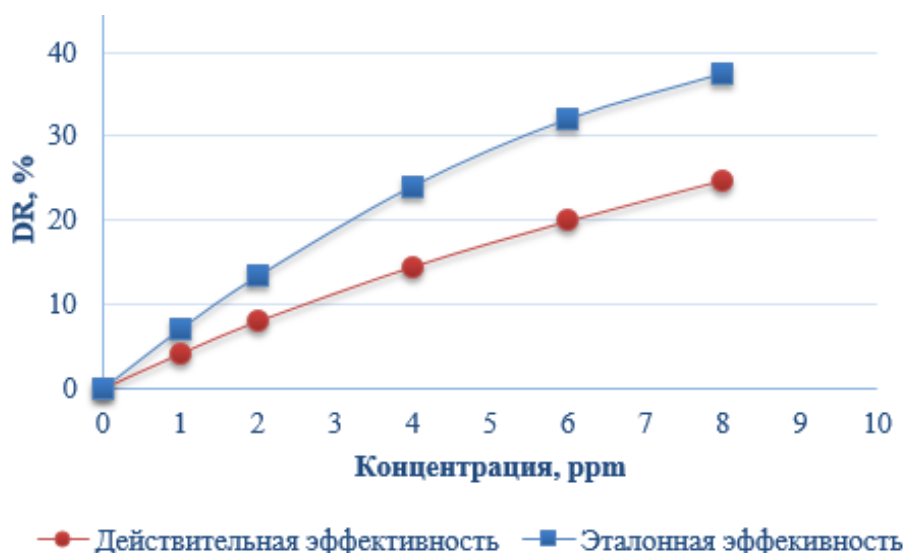


Рис. 2. Повторное пропускание раствора ПТП через турбулентный реометр

Из полученных данных следует, что действительная эффективность стремится к эталонной, и чем она к ней ближе, тем лучшей по качеству признается синтезированная присадка. Снижение эффективности на повторном пропуске раствора ПТП (Рис. 2) по сравнению с первым пропуском (Рис. 1) обуславливается разрушением полимера турбулентным потоком движения жидкости.

Все эти характеристики не позволяют в полной мере оценить деструкцию, которую претерпевает ПТП в процессе прокачки по трубопроводу и воздействия насосов. Данные длительности действия или «живучести» присадки, позволит рационально дозировать присадку на всем пути трубопроводной нитки от головной насосной станции до приемных резервуаров.

Экспериментальная часть

Противотурбулентные свойства исследуемых присадок оценивались по изменению расхода прокачиваемой жидкости от числа циркуляционных циклов на модельной установке для стендовых испытаний расходных характеристик гидравлических сопротивлений в близких условиях к реальным [2].

Ниже приведены исходные параметры при исследовании 10 % водонефтяной эмульсии на установке для стендовых испытаний расходных характеристик гидравлических сопротивлений, (диаметр змеевика 8 мм) результаты которых представлены на рис. 3.

Исходные параметры проведения испытаний на 10 % нефтяной эмульсии: температура – 24-26 °С, давление на нагнетании – 1,5 МПа, плотность перекачиваемого сырья – 841 кг/м³, вязкость – 9,5 сСт.

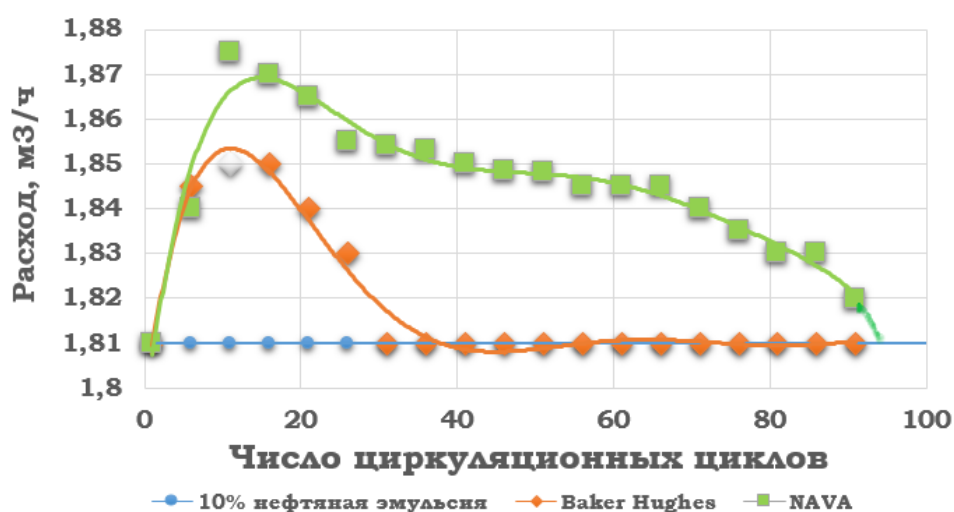


Рис. 3. График зависимости расхода 10 % нефтяной эмульсии и нефтяной эмульсии с присадками

И по данному эксперименту рассчитана эффективность присадок по методике, приведенной в работе [5], и результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные эксперимента присадок серии NAVA и промышленной присадки BakerHughes на 10 %-ой нефтяной эмульсии при различных методах расчета ВЭТ

Название присадки	Расход, м ³ /ч	Перепад давления на змеевике, кгс/см ²	Коэффициент гидравлического сопротивления	ВЭТ, %
Нет присадки	1,810	9,10	0,05261	0,00
NAVA	1,875	8,80	0,047409	5,75
Baker Hughes	1,850	8,62	0,044272	5,30

Величина эффекта Томса рассчитывается по максимальному пиковому расходу, как показано на рис. 4. И по значениям эффективности,

представленным в табл. 1, ВЭТ (NAVA) близки по значению с ВЭТ (Baker Hughes), хотя характер изменения расхода кривых сильно отличается по циркуляционным циклам.

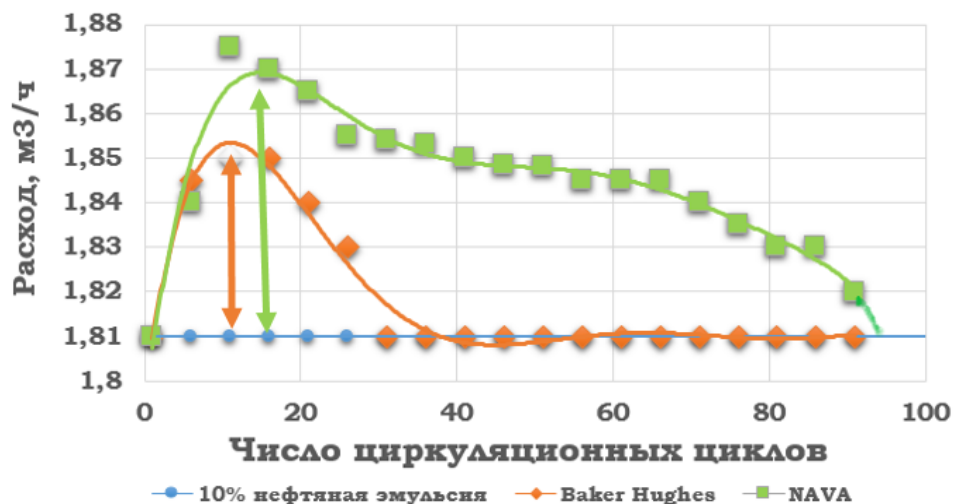


Рис. 4. График изменения максимального ВЭТ по расходу

Для оценки эффективности присадки на продолжительность его действия, как показано на рис. 5 в лабораторных условиях необходимо сравнить суммарные увеличения производительности перекачиваемой жидкости при различных ПТП за промежуток времени (за определенное число циркуляционных циклов).

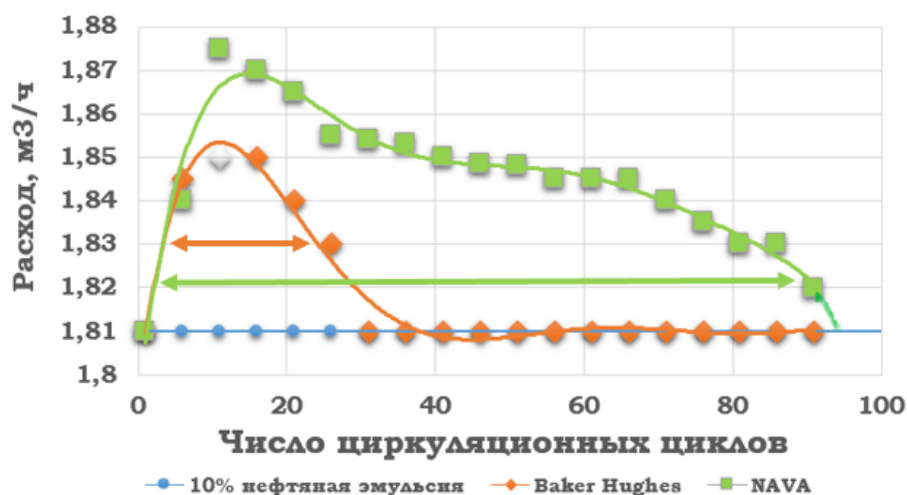


Рис. 5. Характер описания ВЭТ с учетом продолжительности действия

По результатам, представленным на рис. 5, можно сделать вывод, что эффективное действие присадки NAVA наблюдается

до 80-90 циркуляционных циклов. В то время как эффективность промышленно применяемой присадки Baker Hughes снижается при 20-30 циркуляционных циклах, следует, что присадка обладает низкой механической устойчивостью. Двадцатикратное прохождение циркуляционного насоса почти полностью разрушает полимерную основу присадки Baker Hughes и потребуются дополнительная подпитка ПТП по длине трубопровода, для поддержания высокой пропускной способности трубопровода.

Количественную оценку эффективности ПТП на фактор структурно-механической устойчивости можно оценить через площадь кривых расхода жидкости с добавлением ПТП и расхода базовой жидкости.

Данная оценка будет определяться интегральным способом и рассчитывается как определенный интеграл ограниченной графиками функций, в определенном интервале циклов представленной на формуле 1.

$$S = \int_b^a (f(x) - \varphi(x)) dx \quad (1)$$

где $f(x)$ – уравнение функции кривой расхода жидкости с ПТП

$\varphi(x)$ – уравнение кривой расхода исходной жидкости

a, b - интервал определения интеграла (циклы, длина трубопровода, время)

Полученные данные интегрального расчета эффективности ПТП по устойчивости к механодеструкциям представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка структурно-механической устойчивости действия присадок на нефтяной эмульсии с водосодержанием 10%.

Показатели сравнения	Baker Hughes	NAVA
S, кв.ед	3900	13976
Относительная эффективность присадок (E) между исследуемыми составами	<u>1,00</u>	3,59
	0,28	<u>1,00</u>

Относительная эффективность ПТП определяется как отношение,

приведенное в формуле 2.

$$E = \frac{S_1}{S_2} \quad (2)$$

где E – относительная эффективность ПТП

S_1 – площадь, полученная при интегральном расчете для первой ПТП

S_2 – площадь, полученная при интегральном расчете для второй ПТП

Показатель « E » не является постоянным значением, поскольку сравнения эффективности ПТП происходят относительно друг друга. И выбор $E=1.00$ будет определять исходя из ПТП, который выбирается в сравнение.

По результатам табл. 2 видно, что эффективность присадки NAVA выше в 3,59 раз присадки Baker Hughes по увеличению производительности за однократное дозирование присадки, что позволяет предположить о высоком показателе устойчивости к механическим воздействиям на присадку по сравнению с промышленными составами. Дополнительно можно предположить, что на основании этой оценки возможно снизить расход на последующих пропиточных станциях присадкой, находящиеся после промежуточных перекачивающих станций. Расход присадки NAVA может быть ниже в 3,5 раза для обеспечения такого же режима работы трубопровода, как и при использовании присадки Baker Hughes.

Далее были исследованы составы NAVA и Baker Hughes на нефтяных эмульсиях НГДУ «Азнакаевнефть» с увеличением водосодержания для определения предельной концентрации воды для применения промышленных присадок на нефтяных эмульсиях. Результаты представлены в табл. 3.

Как видно из результатов табл. 3 эффективность присадок на устойчивость к механическим воздействиям с ростом концентрации воды увеличивается при сравнении с промышленно-применяемыми

противотурбулентными присадками. Так, например, при содержании 10 % минерализованной воды в эмульсии эффективность при сравнении присадок NAVA и Baker Hughes превышала на 3,59 раз, тогда как на 30 % нефтяной эмульсии эффективность NAVA достигла до 10,96 раз. При 40 % содержании воды присадка Baker Hughes дает отрицательную эффективность и не может быть описана данной методикой.

Таблица 3

Результаты оценки структурно-механической устойчивости действия присадок на нефтяной эмульсии с водосодержанием 20, 30, 40 %.

Содержание воды в эмульсии, %	Baker Hughes		NAVA	
	S, кв.ед	E	S, кв.ед	E
20	1460	1,00	10160	6,96
30	720		7890	10,96
40	-1900		6720	-

Это может быть связано с тем, что промышленная присадка на основе высокомолекулярных полимеров, обладает низкой устойчивостью к свертываемости полимера в высокоминерализованных жидких средах. Данную особенность очень важно учитывать при использовании на месторождениях в России, где фактор минерализации отличается очень сильно.

Данные результаты интеллектуальной собственности зарегистрированы авторами и получены патент и свидетельство ЭВМ [6-7].

Выводы.

Методика оценки действия присадок, которая оценивает их продолжительность действия, может являться дополнительным способом исследования полимерных структур на возможность повышения пропускной способности трубопроводной системы в условиях лабораторных испытаний. Проведенные исследования показали, что

применение низкомолекулярных композиций в сравнении с высокомолекулярными полимерами обладают большей эффективностью по времени, а, следовательно, большей эффективностью по длине трубопровода. Эта особенность позволит снизить число дозирования присадки NAVA от 3 до 10 раз на один и тот же участок трубопровода по сравнению с промышленно применимыми составами.

Источник финансирования: работа выполнена при финансовой поддержке гранта им. заслуженного деятеля нефтепереработки А.Л. Санникова БЛПС ПАО «Газпромнефть»-2018

Список литературы

1. Чичканов, С.В. Влияние молекулярных характеристик полиакриламида на величину эффекта Томса в прямых эмульсиях / С.В. Чичканов, В.А. Мягченков // Нефтяное хозяйство. - 2002. - №12. - С. 118-119.
2. Лисин Ю.В., Семин С.Л., Зверев Ф.С. Оценка эффективности противотурбулентных присадок по результатам опытно- промышленных испытаний на магистральных нефтепроводах/ Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов №3(11) 2013, С. 6-11.
3. Хуснуллин Р.Р., Композиционные составы для снижения гидравлического сопротивления в системах трубопроводного сбора и транспорта продукции нефтяных скважин: дис.канд.техн.наук / Хуснуллин Р.Р.– СПб. (2015).
4. Дусметова Г.И., Шарифуллин А.В., Шарифуллин В.Н., Харитонов Е.В. Разработка и испытание вязкостно-противотурбулентной присадки с нанокomпонентом// Нефтяное хозяйство. № 4' 2017, С. 117-120.
5. Дусметова Г.И., Бурова Г.О., Харитонов Е.В., Байбекова Л.Р., Шарифуллин А.В., Лыжина Н.В. «Технология получения и оценка эффективности для увеличения пропускной способности трубопроводов». Журнал «Нефтяная провинция» №1(17) 2019. С. 227-237.
6. Патент РФ № 2016150792, 22.12.2016 Байбекова Л.Р., Дусметова Г.И., Харитонов Е.В., Шарифуллин А.В. Присадка комплексного действия для транспортировки нефти и нефтепродуктов // Патент России № 2637942. 2017. Бюл. № 34.
7. Свидетельство ФИПС о государственной регистрации программы ЭВМ (РОСПАТЕНТ) № 2018663928 «Программа расчета сравнительной эффективности структурно-механической устойчивости противотурбулентных присадок». Зарегистрирован от 07.11.2018

References

1. Chichkanov, S.V. Influence of the molecular characteristics of polyacrylamide on the value of the Toms effect in direct emulsions / S. V. Chichkanov, V. A. Softenkov // Oil industry. - 2002. - No. 12. - S. 118-119
2. Lisin Yu.V., Semin S.L., Zverev F.S. Evaluation of the effectiveness of anti-turbulent additives according to the results of pilot industrial tests at oil trunk pipelines / Science and Technology of Pipeline Transport of Oil and Oil Products No. 3 (11) 2013, pp. 6-11
3. Khusnullin R.R., Composition compositions for reducing hydraulic resistance in the systems of pipeline collection and transport of oil well products. Diss. Candidate of technical science / Khusnullin R.R. - St. Petersburg. (2015).
4. Dusmetova G.I., Sharifullin A.V., Sharifullin V.N., Kharitonov E.V. Development and testing of viscous-anti-turbulent additives with nanocomponent // Oil industry. No. 4 '2017, C. 117-120
5. Dusmetova G.I., Burova G.O., Kharitonov E.V., Baybekova L.R., Sharifullin A.V., Lyzhina N.V. "Production technology and performance evaluation to increase pipeline throughput." The journal "Oil Province" No. 1 (17) 2019.P. 227-237.
6. RF patent No. 2016150792, 12.22.2016 Baybekova L.R., Dusmetova G.I., Kharitonov E.V., Sharifullin A.V. The additive complex action for the transportation of oil and petroleum products // Russian Patent No. 2637942. 2017. Bull. Number 34.
7. FIPS certificate of state registration of a computer program (ROSPATENT) No. 2018663928 "Program for calculating the comparative effectiveness of the structural and mechanical stability of anti-turbulent additives." Registered-striated from 11.07.2018

Сведения об авторах

Дусметова Гюзаль Икрамовна, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

E-mail: guzal.dusmetova@mail.ru

Харитонов Евгений Васильевич, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

E-mail: kharitonov.eve@list.ru

Бурова Галина Олеговна, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

E-mail: gaburo96@mail.ru

Байбекова Лия Рафаэловна, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

E-mail: l_baibekova@mail.ru

Шарифуллин Андрей Виленович, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

E-mail: sharifullin67@mail.ru

Authors

G.I. Dusmetova, FSBEI of HE "Kazan National Research Technological University", Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

E-mail: guzal.dusmetova@mail.ru

E.V. Kharitonov, FSBEI of HE "Kazan National Research Technological University", Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

E-mail: kharitonov.eve@list.ru

G.O. Burova, FSBEI of HE "Kazan National Research Technological University", Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

E-mail: gaburo96@mail.ru

L.R. Baybekova, FSBEI of HE "Kazan National Research Technological University", Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

E-mail: l_baibekova@mail.ru

A.V. Sharifullin, FSBEI of HE "Kazan National Research Technological University", Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

E-mail: sharifullin67@mail.ru

Харитонов Евгений Васильевич

420015, Российская Федерация, Республика Татарстан

г.Казань, ул. К.Маркса, 68

Тел. +7 987 065 67 87

E-mail: kharitonov.eve@list.ru