

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2024.2.204-219>

EDN CMJSJA

УДК 622.692.4.052:665.61.035.6

## **Исследования промышленных гиперразветвленных полимеров для трубопроводной перекачки вязких нефтяных сред**

<sup>1,2</sup>Харитонов Е. В., <sup>1</sup>Шарифуллин А.В., <sup>1,2,3</sup>Байбекова Л.Р.,

<sup>1</sup>Пестерникова Г.Г., <sup>2</sup>Гафуров Н.Р., <sup>1,2</sup>Юрченко Я.А.,

<sup>1</sup>Миннахметов Ф.Ф., <sup>4</sup>Дусметова Г.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

<sup>2</sup>ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт», Альметьевск, Россия

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

<sup>4</sup>НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», Шымкент, Республика Казахстан

## **Testing of industrial hyperbranched polymers for pipeline pumping of hydrocarbons**

<sup>1,2</sup>E.V. Kharitonov, <sup>1</sup>A.V. Sharifullin, <sup>1,2,3</sup>L.R. Baybekova,

<sup>1</sup>G.G. Pesternikova, <sup>2</sup>N.R. Gafurov, <sup>1,2</sup>Y.A. Yurchenko,

<sup>1</sup>F.F. Minnakhmetov, <sup>4</sup>G.I. Dusmetova

<sup>1</sup>Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

<sup>2</sup>Almetyevsk State Petroleum Institute, Almetyevsk, Russia

<sup>3</sup>Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

<sup>4</sup>South Kazakhstan University named after M. Auezov, Chimkent, Republic of Kazakhstan

**E-mail: [Kharitonov.eve@list.ru](mailto:Kharitonov.eve@list.ru)**

**Аннотация.** В статье описана лабораторная оценка промышленных гиперразветвленных полимеров Boltorn на возможность применения при трубопроводной транспортировке нетрадиционных запасов (ТРИЗ) на примере высоковязкой парафинистой эмульсии. Промышленные присадки отличаются между собой химическим строением и молекулярной массой. Максимальная эффективность на трубопроводную перекачку для Boltorn W3000 составила 13,6% при концентрации 200 ppm, для состава Boltorn H311 – 12,7% при концентрации 150 ppm. Дополнительно изучено влияние гиперразветвленного полимера Boltorn W300 на значения вязкости нефтяной эмульсии различных концентрациях и в температурном диапазоне от 5 до 25°C с шагом в 5°C. Самой эффективной концентрацией присадки в данном исследовании является 100 г/т. При данной концентрации и при 0°C максимальная эффективность по снижению показателя динамической вязкости составляет 40%.

**Ключевые слова:** нефтяная эмульсия, транспортировка, динамическая вязкость, концентрация, присадка, гиперразветвленный полимер

**Для цитирования:** Харитонов Е. В., Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Пестерникова Г.Г., Гафуров Н.Р., Юрченко Я.А., Миннахметов Ф.Ф., Дусметова Г.И. Исследования промышленных гиперразветвленных полимеров для трубопроводной перекачки вязких нефтяных сред // Нефтяная провинция.-2024.-№2(38).-С. 204-219. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.2.204-219>. - EDN CMJSJA

**Abstract.** The article describes a laboratory evaluation of Boltorn industrial hyperbranched polymers for the possibility of application in pipeline transportation of unconventional reserves (TRIZ) using the example of a high-viscosity waxy emulsion. Industrial additives differ in their chemical structure and molecular weight. The maximum efficiency for pipeline pumping for Boltorn W3000 was 13.6% at a concentration of 200 ppm, for the Boltorn H311 composition - 12.7% at a concentration of 150 ppm. Additionally, the effect of the hyperbranched polymer Boltorn W300 on the viscosity values of oil at various concentrations and in the temperature range from 5 to 25°C in increments of 5°C was studied. The most effective additive concentration in this study was 100 g/t. At this concentration and at 0°C, the maximum efficiency in reducing the dynamic viscosity index is 40%.

**Key words:** oil, transportation, dynamic viscosity, concentration, additive, hyperbranched

**For citation:** E.V. Kharitonov, A.V. Sharifullin, L.R. Baybekova, G.G. Pesternikova, N.R. Gafurov, Y.A. Yurchenko, F.F. Minnakhmetov, G.I. Dusmetova Issledovaniya promyshlennykh giperrazvetvlyennykh polimero-rov dlya truboprovodnoy perekachki vyazkikh neftyanykh sred [Testing of industrial hyperbranched polymers for pipeline pumping of hydrocarbons]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(38), 2024. pp. 204-219. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.2.204-219>. EDN CMJSJA (in Russian)

Транспортная система углеводородов является стратегической составляющей экономики нашей страны. Поскольку размеры Российской Федерации достаточно велики, а удаленность районов традиционного залегания углеводородных ископаемых от мест потребления и переработки значительная, то наиболее эффективным в нашей местности является трубопроводный транспорт углеводородного сырья. Большие объемы перекачки связаны с не менее большими объемами затрат не только на стадии проектирования и строительства транспортной инфраструктуры, но и на стадии эксплуатации таких систем. С точки зрения потребления энергоресурсов нашей страны, наиболее затратная область при транспортировке нефтяных сред – потребление электроэнергии насосными агрегатами на нефтеперекачивающих станциях [1-2].

Согласно результатам исследования [3] электрическая энергия, потребляемая на насосных агрегатах, составляет 95% от общего количества потребляемой электроэнергии при перекачке нефтяных сред.

Проблематика данной темы сопряжена с необходимостью планирования энергопотребления при переходных процессах в магистральных нефтепроводах, так как большее количество ресурса несомненно расходуется на нестационарных режимах перекачки, при которых имеет место неустановившееся течение вязкой жидкости. Это называют переходным режимом течения, поскольку течение от установившегося состояния переходит к другому - нестационарному. Частая работа на переходных режимах обусловлена как неравномерностью загрузки трубопровода, так и постоянными ремонтными восстановительными работами, поскольку трубопровод требует постоянного ухода и системы планово-предупредительного ремонта.

Особенно данный вопрос усложняется при перекачке высоковязких нефтяных систем, когда ввиду длительной эксплуатации существующих месторождений сохраняется тенденция увеличения доли ее добычи.

Доля тяжелых нефтей достигает 70% от общего количества добываемой в мире нефти [4]. В России запасы тяжелой нефти оцениваются в 7 млрд. т, что составляет 55% от общего объема нефтяных ресурсов [5]. Для перекачки таких сред требуется еще большее количество энергии, особенно при запуске трубопроводной системы, что требует дополнительных денежных ресурсов.

Данная проблема заставляет искать различные способы снижения затрат на транспортировку продукции трубопроводным способом, искать пути решения по сокращению потребления энергии или целенаправленно воздействовать на саму нефтяную систему. Это, в свою очередь, требует решения различных задач, например, снижении структурной вязкости, статического и динамического напряжения сдвига нефти, предотвращении образования АСПО и их сорбции на поверхности трубы и т.д.

Для повышения эффективности процесса перекачки используются химические добавки для повышения пропускной способности трубопроводов – противотурбулентные присадки или реологические добавки, улучшающие характеристики перекачиваемого продукта [6, 7]. В последние годы в литературе активно обсуждается область трехмерной полимеризации, а именно изучение использования гиперразветвленных полимеров в различных сферах науки [8, 9, 10, 11-12]. Несмотря на сложную характеристику, гиперразветвленные полимеры, как правило, считаются обладающими уникальными физико-химическими свойствами, которые существенно отличаются от свойств их линейных аналогов, например, они обладают компактной структурой, меньшей гибкостью, низкой степенью перепутывания, высокой растворимостью полярных и неполярных растворителях. В рамках выполнения исследований были проведены лабораторные тесты промышленно выпускаемых гиперразветвленных полимеров Boltorn на возможность повышения пропускной способности углеводородных систем. Характеристики реагентов марки Boltorn приведены в табл. 1.

Результаты физико-химического анализа сырой нефтяной эмульсии АО «Кондурчанефть» приведены в табл. 2.

Оценка повышения пропускной способности реагентов на лабораторном стенде [2], в которой жидкости перекачиваются по циркуляционному циклу, представляющему собой трубопроводную систему с насосом и резервуаром. Конечная эффективность действия реагента оценивается по снижению перепада давления и изменению расхода [13].

Таблица 1

**Характеристики реагентов Boltorn**

Характеристики	Марки ГРП Boltorn			
	H311	W3000	P500	H2004
Динамическая вязкость, Па*с (°С)	40 (23)	1 (23)	12-15 (23)	14-20 (25)
Теоретическая молекулярная масса, г/моль	5700	9000	1800	3200
Концентрация воды, % масс.	10	-	<0.5	<2
Растворимость	Простой полиэфир, полиэфирполиолы	Эмульгаторы, растворимый в алкидах, соразрстворителях	Толуол, простые полиэфирполиолы	Большинстве полярных органических растворителей
Внешний вид	Желтая жидкость	Желтый воск	Прозрачная жидкость	Желтая жидкость
Функциональность	-	-	Смешанный гидроксил	Гидроксильные и жирные кислоты
Гидроксильное число, мг КОН/г	230 – 260	-	560 – 630	105-125
Кислотное число, мг КОН/г	--	10	-	7

Таблица 2

**Физико-химические характеристики нефтяной эмульсии**

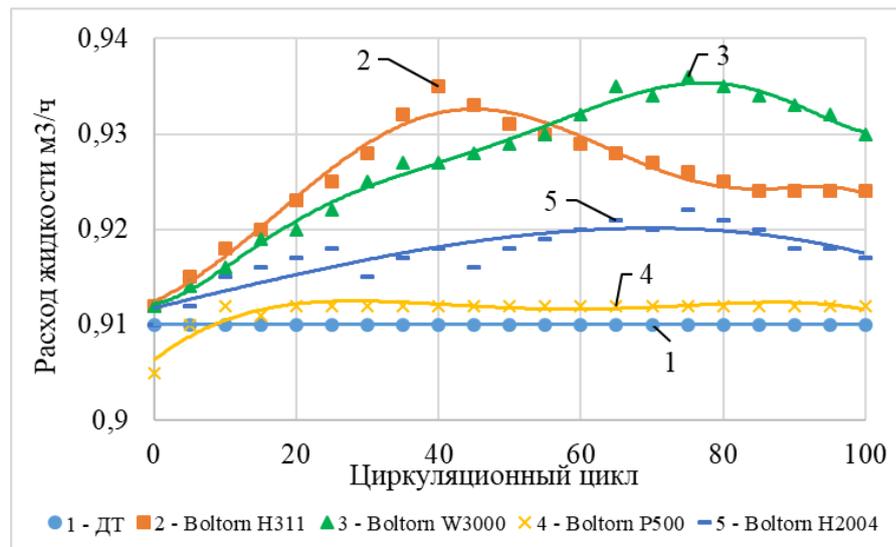
Параметры	Показатели		
	Парафины, %	Смолы, %	Асфальтены, %
Структурно- групповой состав	34,74	8,53	17,26

Концентрация воды, % масс. ГОСТ 2477-2014	41,94
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	967
Кинематическая вязкость при 25 °С, мм <sup>2</sup> /с	1120

В связи высокого исходного значения кинематической вязкости нефтяной эмульсии АО «Кондурчанефть» и с техническими ограничениями по верхней границе вязкости среды на насосное оборудование лабораторного стенда в 50 мм<sup>2</sup>/с была исследована модельная смесь «нефтяная эмульсия - дизельное топливо» с соотношением 1:7. Конечный показатель кинематической вязкости составил  $V = 47$  мм<sup>2</sup>/с.

Для начального качественного отбора реагентов, наиболее подходящих под углеводородные среды, были проведены первичные исследования на углеводородах с минимальным количеством смолистых и асфальтеновых веществ, для исключения осаждения последних на стенках трубопроводов и минимизации экспериментов с заведомым отрицательным результатом. Для первичных исследований была выбрана модельная жидкость – дизельное топливо с кинематической вязкостью  $V = 4$  мм<sup>2</sup>/с при 25°С. Оценка эффективности реагентов заключалась в последовательном прогоне реагентов на лабораторной установке при концентрации в 200 г/т.

Результаты гидравлических исследований гиперразветвленных полимеров Boltorn на модельной жидкости представлены на рис. 1.

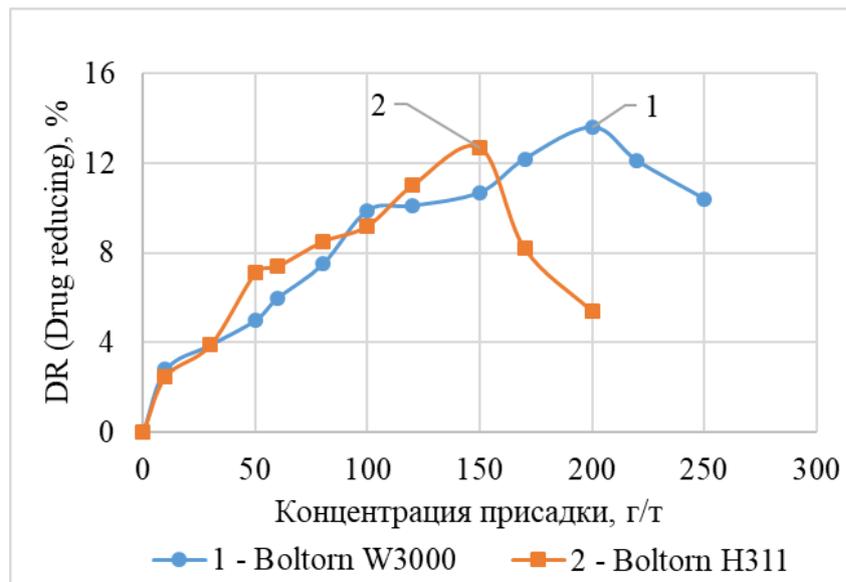


**Рис. 1. Зависимость расхода дизельного топлива от добавления при  $Re=2000$  присадок Boltorn с концентрацией 200 г/м: 1 – дизельное топливо (ДТ); 2 - ДТ + Boltorn H311 (200 ppm); 3 – ДТ + Boltorn W3000 (200 ppm); 4 – ДТ + Boltorn P500 (200 ppm); 5 – ДТ + Boltorn H2004 (200 ppm)**

По результатам предварительных тестов наиболее эффективными оказались реагенты Boltorn H311 и Boltorn W3000. Для более глубокого анализа и определения рабочей концентрации реагенты Boltorn H311 и Boltorn W3000 были приготовлены растворы с концентрациями 10, 30, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 170, 200, 220, 250 ppm и каждая из них была исследована на модельной нефтяной эмульсионной системе.

Результаты анализа гидродинамической эффективности реагентов Boltorn H311 и Boltorn W3000 на модельной нефтяной эмульсии при различных концентрациях присадок представлены на рис. 2.

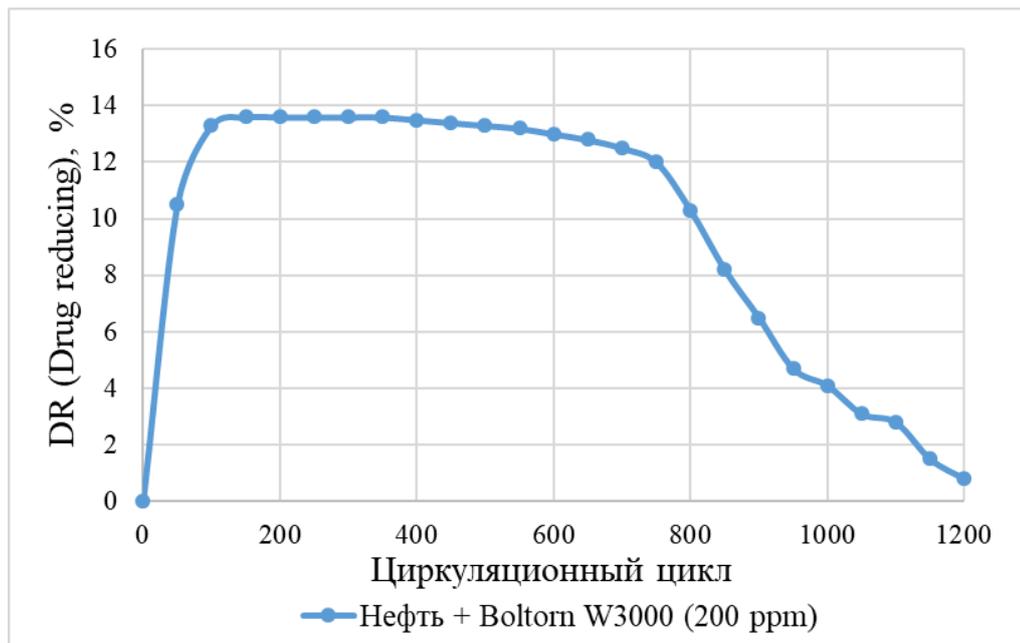
Максимальная эффективность Boltorn W3000 составила 13,6% при концентрации 200 ppm, для состава Boltorn H311 – 12,7% при концентрации 150 ppm. Эффективность обоих реагентов оказалась близкой и отличается не более 15%, что подтверждает их возможность использования как агентов по увеличению пропускной способности трубопроводных систем вязких нефтей, в т.ч. и эмульсионных сред с большим содержанием воды.



**Рис. 2. Зависимость показателя снижения гидравлического сопротивления на модельной нефтяной эмульсии от добавления присадок Boltorn с различной концентрацией при  $Re=2000$ : 1 – нефтяная эмульсия + Boltorn W3000; 2 – нефтяная эмульсия + Boltorn H311**

Дополнительной важной характеристикой использования реагентов как агентов повышения пропускной способности трубопроводов является стойкость к деструкциям при транспортировке и сохранению максимальной эффективности.

Технически данный показатель на лабораторном стенде определяется по времени перекачки – циркуляционным циклам, при котором сохраняется уровень максимальной эффективности. Для реагента Boltorn W3000 при концентрации 200 ppm проводилась цикличная перекачка парафинистой нефтяной эмульсии, результаты которой приведены на рис. 3.



**Рис. 3. Зависимость показателя снижения гидравлического сопротивления на модельной нефтяной эмульсии с присадкой Boltorn W3000 (200 ppm) от циркуляционных циклов**

По результатам тестирования реагента Boltorn W3000 при концентрации 200 ppm определено, что в соединение способно сохранять стабильную эффективность в лабораторных условиях до 800-900 циркуляционных циклов при воздействии шестеренного насоса, что подтверждает высокую стойкость к механодеструкциям реагента.

Для изучения влияния на вязкость системы были приготовлены растворы со следующими концентрациями гиперразветвленного полимера Boltorn W3000 в нефтяной системе, г/т: 10, 30, 50, 80, 100.

Определение динамической вязкости нефтяной эмульсии проводилось на ротационном вискозиметре «Haake Rheostress RS 150L», который позволяет оценить пороговое напряжение сдвига при различных температурах в зависимости от скорости сдвига.

Исследование образцов проводилось при следующих параметрах:

- скорость сдвига в 1/с: 1, 3, 5, 10, 30, 100, 300;
- температурные значения в °С: 0, 5, 10, 15, 20, 25.

Расчет эффективности применения реагентов рассчитывается по формуле 1, представленной в работе [18].

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

$$E = \frac{(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1} * 100\% , \quad (1)$$

где E – эффективность применения реагента;

$\eta_1$  – вязкость нефтяной системы без реагента;

$\eta_2$  – вязкость нефтяной системы с применением реагента.

Значение вязкости сырой нефтяной эмульсии с гиперразветвленным полимером при всем диапазоне концентраций при низких значениях скорости сдвига меньше, чем без добавления реагента. При увеличении скорости сдвига эффективность действия присадки снижается и наблюдается определенный «выход на плато», при котором разница значений вязкости невелика. Наибольшая эффективность проявляется для смеси с концентрацией реагента в 100 г/т и составляет 40,7%, что обуславливается высокими поверхностными свойствами присадки.

С увеличением скорости сдвига свыше  $10 \text{ с}^{-1}$  эффективность присадки менее 10% для концентрации 100 г/т.

При температуре  $5^\circ\text{C}$  эффективность действия присадки аналогично концентрации 100 г/т в области низких скоростей сдвига и составляет максимум 4,2% при концентрации реагента в нефтяной эмульсии 30 г/т.

Характер изменения вязкости исследований присадки при  $10^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  в данных условиях при различных концентрациях аналогичен эксперименту при температуре при  $5^\circ\text{C}$ . Эффективность использования реагента не превышает 5%, а во многих случаях имеет отрицательные значения во всем диапазоне концентрация, скоростей сдвига, что свидетельствует о низкой эффективности для применения в таких условиях.

Таблица 3

**Эффективность присадки Voltorn W300 в изопропиловом спирте на снижение динамической вязкости в нефтяной эмульсии от температуры и скорости сдвига**

		Скорость сдвига, 1 с <sup>-1</sup>						
		1	3	5	10	30	100	300
Концентрация присадки 100 г/т								
Температура, °С	0	40,7	27,3	19,9	12,9	8,9	4,4	3,0
	5	0,9	0,5	-3,6	-0,5	-1,3	-0,2	1,2
	10	3,6	4,6	3,9	0,6	2,0	-0,1	0,4
	15	14,3	6,7	2,7	0,6	2,1	0,8	0,6
	20	3,9	-3,1	-5,6	-6,3	-6,8	-7,5	-8,4
	25	-0,4	1,5	2,3	1,2	1,0	0,3	-0,9
Концентрация присадки 80 г/т								
Температура, °С	0	35,1	24,2	19,0	13,9	10,0	4,4	3,2
	5	3,4	1,1	-4,1	0,0	0,0	2,7	-0,2
	10	-2,0	2,8	4,2	2,2	2,6	-0,2	1,4
	15	0,1	0,7	0,1	0,8	0,3	-0,9	4,0
	20	-0,5	-6,0	-8,8	10,3	-10,0	-11,3	-11,8
	25	-0,4	-1,8	-0,3	-6,2	-4,1	-5,7	-6,7
Концентрация присадки 50 г/т								
Температура, °С	0	36,1	25,3	20,2	14,9	10,9	5,1	2,1
	5	3,1	3,6	-1,5	0,7	0,1	0,9	0,1
	10	-3,1	-1,5	-1,4	-3,8	-1,3	-3,1	-2,5
	15	2,5	1,4	-0,2	-2,3	-6,3	-8,8	-9,1
	20	-5,8	-8,2	-8,2	-11,4	-11,5	-13,9	-15,0
	25	-11,7	-5,0	-2,0	-3,6	-4,8	-6,6	-8,1
Концентрация присадки 30 г/т								
Температура, °С	0	36,7	25,1	19,2	13,9	9,7	4,7	3,6
	5	4,2	2,4	-3,3	-1,5	-1,7	0,3	1,0
	10	-5,0	-1,3	-0,8	-0,9	-1,5	-3,6	1,4
	15	0,1	-3,4	-4,8	-6,4	-5,6	-6,5	-4,8
	20	2,4	-10,7	-14,2	-15,3	-13,4	-14,5	-14,5
	25	-1,7	-3,6	-4,0	-7,0	-6,0	-7,3	-8,0
Концентрация присадки 10 г/т								
Температура, °С	0	35,6	24,2	18,2	12,5	9,0	3,9	2,4
	5	-6,2	-1,4	-4,2	1,0	-1,7	-0,9	0,1
	10	-0,8	0,8	0,4	-2,5	-0,8	-3,2	-1,9
	15	6,6	-0,7	-4,0	-6,9	-4,4	-5,6	-5,5
	20	-2,2	-9,8	-11,1	-15,2	-13,6	-15,3	-12,2
	25	-17,2	-9,0	-2,7	-3,9	-2,3	-2,7	-3,7

Предполагаемый механизм снижения вязкости гиперразветвленных полимеров Boltorn основан на адсорбции полярных групп полимера на полярных группах соединений в составе нефти (смолы и асфальтены) и снижения межмолекулярного взаимодействия между высокомолекулярными соединениями в нефтяной среде.

В результате проведенного исследования были протестированы промышленно применяемые гиперразветвленные полимеры Boltorn четырех марок на предмет возможности повышения пропускной способности нетрадиционных запасов – нефтяных эмульсий высокой вязкости и водосодержания. В ходе исследования установлено, что эффективность реагентов прямо пропорциональна молекулярной массе полимеров.

Максимальная эффективность на увеличение пропускной способности нефтяной системы реагента Boltorn W3000 при концентрации 200 ppm составила 13,6%. Оценка устойчивости на механодеструкцию при последовательной перекачке и многократной циркуляции через насос составила более 800 единиц, что подтверждает высокую стабильность на перекачке на большие расстояния в случае промышленного использования реагента и исключения дополнительного дозирования при прохождении насосных станций.

Максимальная эффективность действия реагента Boltorn W3000 на снижение динамической вязкости в лабораторных условиях составила 40,7% при концентрации 100 г/т, скорости сдвига в  $1 \text{ с}^{-1}$ , температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , что подтверждает возможность применения присадки при пусках трубопроводных систем, при котором происходят большие нагрузки на насосные системы.

## Список литературы

1. Е.В. Харитонов, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, А.Ф. Максимов, М.В. Годящева, Разработка реагентов из отходов нефтехимического производства для трубопроводного транспорта углеводородов / Вестник технологического университета. 2022, т.25, в.10, с. 27-30
2. Харитонов Е.В., Байбекова Л.Р., Шарифуллин А.В., Годящева М.В. Лабораторный стенд для испытания реагентов для трубопроводного транспорта и его модернизация к системе «из насоса в насос» / Вестник технологического университета. 2022, т.25, в.10, с. 36-39
3. Т.И. Работинская Минимизация потребления электроэнергии при трубопроводном транспорте нефти / Т. И. Работинская // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2014 – Ухта, 2014. С. 83–87.
4. Y. Wang, 42. Y. Chen, J. He, P. Li, C. Yang Mechanism of catalytic aquathermolysis: Influences on heavy oil by two types of efficient catalytic ions: Fe<sup>3+</sup> and Mo<sup>6+</sup> // Energy and Fuels. 2010. V. 24. №3. С. 1502-1510
5. И.Ш.С. Салих, А.К. Ишимбаев, И.И. Мухаматдинов, А.В. Вахин Исследование облагораживания сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения с применением растворителей при паротепловом воздействии // Экспозиция Нефть Газ. 2020. №2. С. 21-24.
6. Е.В. Харитонов, Л.Р. Байбекова, А.В. Шарифуллин Адсорбционные процессы и снижение гидравлического сопротивления // Деловой журнал Neftegaz.ru. 2020. № 12 (108). С. 97–99.
7. Е.В. Харитонов, Л.Р. Байбекова, А.В. Шарифуллин Г.И Дусметова. Исследования по подбору реагентов для транспорта вязких углеводородов на экспериментальном стенде // Трубопроводный транспорт углеводородов: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Омск, 30 окт. 2020 г.). Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. С. 31–35.
8. H. Frey, R. Haag, Dendritic polyglycerol: a new versatile biocompatible material. Rev. Mol. Biotechnol // Journal of Biotechnology. 2002. №90(3-4). С. 257-267.
9. P.G. Parzuchowski, M. Grabowska, M. Tryznowski, G. Rokicki Synthesis of Glycerol Based Hyperbranched Polyesters with Primary Hydroxyl Groups // Macromolecules. 2006. №39, 21. С. 7181–7186.
10. N. Wang, T. Wu, L. Wang, X. Li, Zhao C., Li J., Ji S. Hyperbranched polymer composite membrane using water as solvent for separating aromatic/aliphatic hydrocarbon mixtures // Separation and Purification Technology. 2017. №179. С. 225-235.
11. Korake S., Shaikh A., Salve R., Gajbhiye K.R., Gajbhiye V., Pawar A. Biodegradable dendritic Boltorn™ nanoconstructs: A promising avenue for cancer theranostics // International Journal of Pharmaceutics. 2021. №1;594:120177.
12. Кутырев Г.А., Максимов А.Ф., Бусыгина А.А., Идиятов И.И., Валиуллин Л.Р., Галлямова С.Р., Бирюля В.В., Гатаулина А.Р., Кутырева М.П. Синтез, комплексообразующие и фунгицидные свойства гиперразветвленных полиэфирополифосфатов // Вестник Казанского технологического университета. 2017. №21.
13. Г.И. Дусметова, А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, Е.В. Харитонов, Г.Ф. Сагитова Специфика применения присадок в трубопроводном транспорте нефтяных эмульсий. Южно-Казахский университет им. М. Ауезова, Шымкент, 2023. 172 с.

## References

1. E.V. Kharitonov, A.V. Sharifullin, L.R. Baibekova, A.F. Maksimov, M.V. Godyashcheva, Development of reagents from petrochemical waste for pipeline transport of hydrocarbons / Bulletin of the Technological University. 2022, v.25, v.10, p.27-30. (in Russian)
2. Kharitonov E.V., Baibekova L.R., Sharifullin A.V., Godyashcheva M.V., Laboratory stand for testing reagents for pipeline transport and its modernization to the “pump to pump” system / Bulletin of the Technological University. 2022, v.25, v.10, p.36-39. (in Russian)
3. T.I. Rabotinskaya Minimization of electricity consumption during pipeline oil transport / T.I. Rabotinskaya // SEVERGEOEKOTECH-2014 - Ukhta, 2014. pp. 83–87. (in Russian)
4. Y. Wang, 42. Y. Chen, J. He, P. Li, C. Yang Mechanism of catalytic aquathermolysis: Influences on heavy oil by two types of efficient catalytic ions: Fe<sup>3+</sup> and Mo<sup>6+</sup> // Energy and Fuels. 2010. V. 24. No. 3. pp. 1502-1510. (in Russian)
5. I.Sh.S. Salikh, A.K. Ishimbaev, I.I. Mukhamatdinov, A.V. Vakhin Study of upgrading of super-viscous oil from the Ashalchinskoye field using solvents under thermal steam exposure // Exposition Oil Gas. 2020. No. 2. pp. 21-24. (in Russian)
6. E.V. Kharitonov, L.R. Baybekova, A.V. Sharifullin Adsorption processes and reduction of hydraulic resistance // Business magazine Neftegaz.ru. 2020. No. 12 (108). pp. 97–99. (in Russian)
7. E.V. Kharitonov, L.R. Baybekova, A.V. Sharifullin G.I. Dusmetova. Research on the selection of reagents for the transport of viscous hydrocarbons at an experimental stand // Pipeline transport of hydrocarbons: materials of the IV All-Russian. scientific-practical conf. (Omsk, October 30, 2020). Omsk: Omsk State Technical University Publishing House, 2020. pp. 31–35. (in Russian)
8. H. Frey, R. Haag, Dendritic polyglycerol: a new versatile biocompatible material. Rev. Mol. Biotechnol // Journal of Biotechnology. 2002. No. 90(3-4). pp. 257-267.
9. P.G. Parzuchowski, M. Grabowska, M. Tryznowski, G. Rokicki Synthesis of Glycerol Based Hyperbranched Polyesters with Primary Hydroxyl Groups // Macromolecules. 2006. No. 39, 21. pp. 7181–7186.
10. N. Wang, T. Wu, L. Wang, X. Li, Zhao C., Li J., Ji S. Hyperbranched polymer composite membrane using water as solvent for separating aromatic/aliphatic hydrocarbon mixtures // Separation and Purification Technology. 2017. No. 179. pp. 225-235.
11. Korake S., Shaikh A., Salve R., Gajbhiye K.R., Gajbhiye V., Pawar A. Biodegradable dendritic Boltorn<sup>TM</sup> nanoconstructs: A promising avenue for cancer theranostics // International Journal of Pharmaceutics. 2021. No. 1;594:120177.
12. Kutyrev G.A., Maksimov A.F., Busygina A.A., Idiyatov I.I., Valiullin L.R., Gallyamova S.R., Biryulya V.V., Gataulina A.R., Kutyreva M.P. Synthesis, complexing and fungicidal properties of hyperbranched polyether polyphosphates // Bulletin of the Kazan Technological University. 2017. No. 21. (in Russian)
13. G.I. Dusmetova, A.V. Sharifullin, L.R. Baybekova, E.V. Kharitonov, G.F. Sagitova Specifics of using additives in pipeline transport of oil emulsions. South Kazakh University named after. M. Auezova, Shymkent, 2023. 172 p. (in Russian)

### **Сведения об авторах**

*Харитонов Евгений Васильевич*, аспирант, инженер,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, 68  
ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт»  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2  
E-mail: E.Haritonov@agni-rt.ru

*Шарифуллин Андрей Виленович*, профессор, д.т.н.,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, 68  
E-mail: sharifullin67@mail.ru

*Байбекова Лия Рафаэловна*, доцент, к.т.н., заведующий лабораторией,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, 68  
ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт»  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18  
E-mail: L.Baybekova@agni-rt.ru

*Пестерникова Галина Геннадьевна*, магистр, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, 68  
E-mail: pest\_gal@mail.ru

*Гафуров Наиль Рустемович*, лаборант, ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт»  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2  
E-mail: N.Gafurovv@agni-rt.ru

*Юрченко Яна Александровна*, лаборант, ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт»  
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Ленина, 2  
E-mail: Ya.Yurchenko@agni-rt.ru

*Миннахметов Фирдус Фидаилевич*, студент, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Россия, 420015, Казань, ул. К. Маркса, 68  
E-mail: mcfirdus@gmail.ru

*Дусметова Гюзаль Икрамовна*, к.т.н., доцент, НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова»  
Республика Казахстан, 160012, Шымкент, просп. Тауке хана, 5  
E-mail: guzal.dusmetova@mail.ru

## **Autors**

*E.V. Kharitonov*, PhD student, engineer,  
Kazan National Research Technological University  
68, K. Marks Str., Kazan, 420015, Russian Federation  
Almetyevsk State Petroleum Institute  
2, Lenin Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: E.Haritonov@agni-rt.ru

*A.V. Sharifullin*, full Professor, Kazan National Research Technological University  
68, K. Marks Str., Kazan, 420015, Russian Federation  
E-mail: sharifullin67@mail.ru

*L.R. Baybekova*, PhD, Head of Laboratory,  
Kazan National Research Technological University  
68, K. Marks Str., Kazan, 420015, Russian Federation  
Almetyevsk State Petroleum Institute  
2, Lenin Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation  
Kazan (Volga) Federal University  
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation  
E-mail: L.Baybekova@agni-rt.ru

*G.G. Pesternikova*, student, Kazan National Research Technological University  
68, K. Marks Str., Kazan, 420015, Russian Federation  
E-mail: pest\_gal@mail.ru

*N.R. Gafurov*, technician, Almetyevsk State Petroleum Institute  
2, Lenin Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: N.Gafurovv@agni-rt.ru

*Y.A. Yurchenko*, technician, Almetyevsk State Petroleum Institute  
2, Lenin Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation  
E-mail: Ya.Yurchenko@agni-rt.ru

*F.F. Minnakhmetov*, student, Kazan National Research Technological University  
68, K. Marks Str., Kazan, 420015, Russian Federation  
E-mail: mcfirdus@gmail.ru

*G.I. Dusmetova*, PhD, South Kazakhstan University named after M. Auezov  
5, Tauke khana av., Chimkent, 160012, Republic of Kazakhstan  
E-mail: guzal.dusmetova@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 04.03.2024*  
*Принята к публикации 19.06.2024*  
*Опубликована 30.06.2024*