КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ТЕРМОТРОПНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЕ

И.С. Кожевников, А.В. Богословский

Иван Сергеевич Кожевников (ORCID 0000-0003-2505-2002)*, Андрей Владимирович Богословский (ORCID 0009-0000-6936-4425)

Лаборатория коллоидной химии нефти, Институт химии нефти СО РАН, Академический пр., 4, Томск, Российская Федерация, 634055

E-mail: www.tsu@gmail.com*, bav@ipc.tsc.ru

В настоящей работе исследованы реологические свойства 3% раствора метилцеллюлозы (MC-2000S) – полимера с нижней критической температурой растворения, используемого в качестве базового компонента термотропных составов, разработанных в Лаборатории коллоидной химии нефти ИХН СО РАН и применяемых для увеличения нефтеотдачи пластов. Измерения проводили на реометре Viscotester iO, оснашенном измерительной системой коаксиальных цилиндров СС25 при нагревании и охлаждении образца с различной скоростью изменения температуры в ротационном и осцилляционном режимах. Контроль температуры осуществлялся встроенным в реометр элементом Пельтье. В ротационном режиме регистрировали зависимости вязкости от скорости сдвига, зависимости вязкости от температуры при постоянном значении скорости сдвига, а в осцилляционном режиме – зависимости компонент упругого модуля от температуры при заданных значениях деформации (0,01) и частоты (1 Ги). Показано, что на вязкостнотемпературных зависимостях после достижения максимума, соответствующего структурированию, наблюдается резкий спад, связанный с механическим разрушением образца, а модуль упругости после достижения максимума выходит на плато – формирующаяся структура сохраняется. Установлено, что зависимости вязкости и модуля упругости от температуры, регистрируемые при нагревании и охлаждении образца с фиксированной скоростью, существенно отличаются – наблюдается гистерезис реологических свойств. Картина гистерезиса для зависимостей вязкости от температуры, полученных в ротаиионном режиме, сушественно меняется при изменении скорости нагрева/охлаждения, в то время как для кривых, полученных в осцилляционном режиме при заданной деформации, такой зависимости не наблюдается.

Ключевые слова: вязкость, гелеобразующие составы, метилцеллюлоза, модуль упругости, режим осцилляции, реокинетика, ротационная реометрия, повышение нефтеотдачи

KINETICS FEATURES OF STRUCTURE FORMATION IN A THERMOTROPIC POLYMER SYSTEM

I.S. Kozhevnikov, A.V. Bogoslovskii

Ivan S. Kozhevnikov (ORCID 0000-0003-2505-2002)*, Andrey V. Bogoslovskii (ORCID 0009-0000-6936-4425) Laboratory of Petroleum Colloidal Chemistry, Institute of Petroleum Chemistry of SB of the RAS, Akademicheskiy ave., 4, Tomsk, 634055, Russia

E-mail: www.tsu@gmail.com*, bav@ipc.tsc.ru

In the present work the rheological properties of 3% solution of methylcellulose (MC-2000S), a polymer with lower critical dissolution temperature, used as a base component of thermotropic compositions developed by the Laboratory of Petroleum Colloidal Chemistry IPC SB, used for enhanced oil recovery, were investigated. Measurements were performed on a Haake Viscotester iQ rheometer equipped with a measuring system of CC25 coaxial cylinders during heating and cooling of the sample at different rates of temperature change in rotational and oscillation modes. Temperature control was carried out by a Peltier element built into the rheometer. In the rotational mode, the dependences of viscosity on shear rate, viscosity dependences on temperature at a constant value of shear rate were recorded, and in the oscillation mode, the dependences of the elastic modulus component on temperature at a given value of strain (0.01) and frequency (1 Hz) were recorded. It is shown that on viscosity-temperature dependences after reaching the maximum corresponding to structurization there is a sharp decline associated with mechanical destruction of the sample, and the elastic modulus after reaching the maximum reaches a plateau - the forming structure is preserved. It was found that the dependences of viscosity and elastic modulus on temperature, recorded during heating and cooling of the sample at a fixed rate, differ significantly - hysteresis of rheological properties is observed. The hysteresis picture for the viscosity-temperature dependences obtained in the rotational mode changes significantly when the heating/cooling rate is changed, while no such dependence is observed for the curves obtained in the oscillatory mode at a given strain.

Keywords: gel-forming compositions, methylcellulose, elastic modulus, viscosity, oscillation mode, rheokinetics, enhanced oil recovery

Для цитирования:

Кожевников И.С., Богословский А.В. Кинетические особенности структурообразования в термотропной полимерной системе. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2025. Т. 68. Вып. 8. С. 26–31. DOI: 10.6060/ivkkt.20256808.9t. **For citation:**

Kozhevnikov I.S., Bogoslovskii A.V. Kinetics features of structure formation in a thermotropic polymer system. *Chem*-*ChemTech* [*Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Tekhnol.*]. 2025. V. 68. N 8. P. 26–31. DOI: 10.6060/ivkkt.20256808.9t.

ВВЕДЕНИЕ

С целью повышения нефтеотдачи пластов физико-химическими методами в разрабатываемый пласт закачиваются растворы различных химических реагентов (ПАВ, полимеров, кислот, щелочей и т.д.), а также специально разработанные нефтевытесняющие композиции и гелеобразующие составы (ГОС) [1-11].

ГОС обеспечивают ограничение водопритока в добывающие скважины, выравнивают профиля приемистости для нагнетательных скважин, создают в пласте гелевые экраны для перераспределения фильтрационных потоков. ГОС бывают бинарные (образуют гель при смешении компонентов), термотропные (теряют текучесть при изменении температуры), а также смешанного типа. В ИХН СО РАН разработан ряд комплексных технологий повышения нефтеотдачи, включающих применение различных ГОС [3, 4, 7, 8]. В том числе, разработаны термотропные ГОС на основе полимера с нижней критической температурой растворения – метилцеллюлозы (МЦ) [8].

При разработке гелеобразующих систем необходимо контролировать динамику изменения реологических свойств объекта. Наиболее предпочтительны неразрушающие формирующуюся структуру методы, основанные на колебательном режиме движения пробного тела – реометры, рабо-

тающие в режиме осцилляции [12, 13] и вибрационные вискозиметры [14-17]. Характеристики вибрационных вискозиметров разработки ИХН СО РАН и экспериментальные результаты опубликованы в [18-22]. На сегодняшний день серийно выпускаются реометры (Haake, Anton Paar и др.), которые позволяют проводить измерения как в ротационном, так и в осцилляционном режимах. Такие устройства хорошо подходят для исследований сформировавшегося геля, но могут быть недостаточно чувствительны в области малых значений вязкости. Однако, в ряде практически важных случаев они могут быть использованы для контроля кинетики нарастания вязкоупругих свойств образца в процессе гелеобразования, в том числе для низкотемпературных композиций [23], полимерных криогелевых систем [24] и др.

В настоящей работе в ротационном и осцилляционном режимах исследована кинетика изменения реологических свойств термотропного ГОС на полимерной основе.

ТЕХНИКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования выступал 3% раствор МЦ (марка MC-2000S, молекулярная масса $M = 2,3 \cdot 10^5$, степень замещения 1,34) в дистиллированной воде – основа термотропных гелеобразующих композиций, разработанных в ИХН СО РАН. В качестве метода исследования исполь-

зовали ротационную и осцилляционную реометрию, а именно реометр Haake Viscotester iQ с измерительной системой коаксиальных цилиндров СС25 DIN/Ті. Нагрев и охлаждение образца с заданной скоростью, а также термостатирование образцов при заданных температурах осуществляли с помощью встроенного в измерительный блок реометра элемента Пельтье. Раствор МЦ в дистиллированной воде готовили непосредственно перед серией измерений. Предварительно проводили эксперименты с исходным раствором при различных температурах (регистрация реологических кривых, определение характера течения) и со сформировавшимся при повышенной температуре гелем (развертка по амплитуде в режиме контролируемой деформации – CD amplitude sweep). Затем проводили кинетические измерения в условиях линейного изменения температуры в ротационном и осцилляционном режимах при двух различных скоростях нагрева/охлаждения (0,006250 и 0,003125 °C/с).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Реологическая характеристика исходного раствора при различных температурах

На рис. 1 представлены реологические кривые (зависимости вязкости от скорости сдвига) для раствора 3% МЦ полученные при 10, 20, 30 °C. Видно, что исходный раствор является неньютоновской, псевдопластичной жидкостью; вязкость снижается с увеличением скорости сдвига. В условиях эксперимента наибольшее снижение наблюдается в области значений скорости сдвига до 500 с⁻¹. При температурах 10-30 °C в растворе МЦ структурообразования не происходит, вязкость раствора увеличивается при снижении температуры, а положение реологической кривой с понижением температуры смещается в сторону увеличения вязкости.





Fig. 1. Dependences of viscosity on shear rate for 3% MC solution obtained at 10 (1), 20 (2), 30 (3) °C

2. Исследование реокинетики вязкости в процессе гелеобразования в исследуемой системе при линейно изменяющейся температуре

На рис. 2 представлены зависимости вязкости от температуры для раствора 3% масс. МЦ, зарегистрированные в ротационном режиме при скорости сдвига 1 с⁻¹ в диапазоне температур от 20 до 87,5 °С, при нагревании (1) и охлаждении (2) образца со скоростью 0,006250 °С/с в течение 3 ч. При нагревании образца от 20 до 55 °C наблюдается снижение вязкости образца с 7,5 до 2 Па·с, при дальнейшем повышении температуры до 60-62 °С наблюдается участок незначительного увеличения вязкости, связанный с начальным этапом структурообразования. Дальнейший, резкий рост вязкости при нагревании до 62-66 °C связан со структурированием образца (гелеобразованием) в объеме между роторами реометра; максимальное зарегистрированное значение вязкости в данном эксперименте равно 90 Па·с, достигается при 67 °С. Известно, что в выбранном диапазоне температур, формирующийся при нагревании образца гель, с ростом температуры, упрочняется [7, 8]. Однако в условиях эксперимента, при нагревании выше 66 °С регистрируется снижение вязкости, по-видимому, связанное с особенностями выбранного режима деформирования - происходит частичное разрушение формирующейся структуры вращающимся ротором реометра. Также известно, что формирующийся из раствора МЦ гель при его охлаждении, по прошествии достаточного времени, разрушается.



Рис. 2. Реокинетика вязкости, зарегистрированная при нагревании (1) и охлаждении (2) образца со скоростью 0,006250 °C/c Fig. 2. Viscosity rheokinetics recorded when the sample was

heated (1) and cooled (2) at a rate of 0.006250 °C/s

Кривая 2 на рис. 2 демонстрирует реокинетику разрушения геля при его охлаждении в тех же условиях: при снижении температуры с 87,5 до 54 °С наблюдается некоторое повышение вязкости, дальнейшее снижение температуры приводит к снижению вязкости до 3,5 Па·с при комнатной температуре. Наблюдающийся гистерезис вязкости геля можно рассматривать как комплексную характеристику кинетики процесса образования-разрушения структуры в заданных условиях.

При снижении скорости нагрева вдвое (увеличении времени нагрева) (рис. 3) общий вид вязкостно-температурных кривых не изменяется. Однако, несколько изменяются координаты экстремумов и вид регистрируемых вязкостно-температурных кривых. Так, при нагревании образца (кривая 1 рис. 3) максимальное значение вязкости 76 Па·с достигается при 65 °C. Наблюдаемый факт свидетельствует о зависимости положения точки потери текучести, определяемой по скачку вязкости, от скорости нагрева/охлаждения системы. Также, экстремум вязкости на кривой 2 рис. 3, регистрируемой при охлаждении образца (52 Па·с при 54 °С), смещается ближе к экстремуму на кривой 1 (по сравнению с положением указанных максимумов на рис. 2). С уменьшением скорости нагрева относительное положение кривых, характеризующее гистерезис вязкости, изменяется, а значения вязкости при 20 °C для кривых прямого и обратного ход близки. Зависимости модуля упругости G' (рис. 4, 5), зафиксированные в режиме осцилляции, можно использовать для оценки реологического состояния образца в процессе формирования структуры. Предварительно устанавливался LVEдиапазон и выбиралось значение деформации для дальнейших исследований. В данной работе выбрана деформация 0,01, результаты амплитудного теста не приводятся.

На зависимостях модуля упругости G' от времени, полученных в режиме осцилляции, при тех же условиях эксперимента, что и для ротационного режима, отметим следующие особенности. После достижения максимума резкого снижения модуля упругости не происходит, кривые выходят на плато - формирующаяся структура на разрушается. Кривые, полученные при охлаждении образца, так же, как и в случае с вязкостно- температурными кривыми, рис. 2 и 3, существенно отличаются от зависимостей, полученных при нагревании образцов - наблюдается гистерезис. Однако, в данном случае значения G' при 20 °C для кривых прямого и обратного хода существенно отличаются, а время эксперимента (скорость нагрева) влияет на результат несущественно – результаты для различных скоростей нагрева/охлаждения практически совпадают, что так же может быть связано с использованием неразрушающего режима деформирования образца.



Рис. 3. Реокинетика вязкости, зарегистрированная при нагревании (1) и охлаждении (2) образца со скоростью 0,003125 °C/c Fig. 3. Viscosity rheokinetics recorded when the sample was

heated (1) and cooled (2) at a rate of 0.003125 °C/s



Рис. 4. Реокинетика модуля упругости, зарегистрированная при нагревании (1) и охлаждении (2) образца со скоростью 0,006250 °C/c

Fig. 4. Rheokinetics of elastic modulus recorded when the sample was heated (1) and cooled (2) at a rate of 0.006250 $^{\circ}C/s$



Рис. 5. Реокинетика модуля упругости, зарегистрированная при нагревании (1) и охлаждении (2) образца со скоростью 0,003125 °C/с

Fig. 5. Rheokinetics of elastic modulus recorded when the sample was heated (1) and cooled (2) at a rate of 0.003125 °C/s

выводы

Таким образом, в ротационном и осцилляционном режимах исследованы реологические свойства 3% раствора МЦ в дистиллированной воде при изменении его фазового состояния (при обратимом золь-гель переходе) в результате нагрева/охлаждения при двух заданных скоростях изменения температуры. Установлено, что регистрируемые при изменении температуры образца зависимости вязкости и модуля упругости существенно отличаются для нагревания и охлаждения – наблюдается гистерезис. При этом скорость изменения температуры различным образом влияет на относительное положение регистрируемых кривых. Картина гистерезиса для кривых, полученных в ротационном режиме, существенно изменяется при изменении скорости нагрева/охлаждения образца, в то время как для кривых, полученных в осцилляционном режиме, такой зависимости не наблюдается. Также, на вязкостно-температурных зависимостях после

ЛИТЕРАТУРА

- Romero-Zeron L. Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) – a Practical Overview. London: InTechOpen Ltd. 2016. 200 p. DOI: 10.5772/61394.
- 2. Муслимов Р.Х. Нефтеотдача прошлое, настоящее, будущее. Казань: изд-во «ФЭН». 2012. 664 с.
- Алтунина Л.К., Кувшинов В.А. Физико-химические методы увеличения нефтеотдачи пластов нефтяных месторождений (обзор). *Vcn. химии.* 2007. Т. 76. № 10. С. 1034-1052. DOI: 10.1070/RC2007v076n10ABEH003723.
- Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Стасьева Л.А., Кувшинов И.В. Тенденции и перспективы развития физико-химических методов увеличения нефтеотдачи месторождений тяжелой нефти. Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26. № 3. С. 261-277. DOI: 10.15372/KhUR20180303.
- Муслимов Р.Х. Повышение нефтеотдачи пластов приоритетное направление развития нефтяной отрасли современной России. *Нефть. Газ. Новации.* 2013. Т. 4. № 171. С. 63-73.
- 6. Рузин Л.М., Морозюк О.А., Дуркин С.М. Особенности и инновационные направления освоения ресурсов высоковязких нефтей. *Нефт. хоз-во.* 2013. № 8. С. 51-53.
- Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Стасьева Л.А., Кувшинов И.В. Увеличение нефтеотдачи залежей высоковязких нефтей кислотными композициями на основе поверхностно-активных веществ, координирующих растворителей и комплексных соединений. *Георесурсы*. 2019. Т. 21. № 4. С. 103-113. DOI: 10.18599/grs.2019.4.103-113.
- 8. **Кувшинов И.В., Кувшинов В.А., Алтунина Л.К.** Применение термотропных композиций для повышения нефтеотдачи. *Нефт. хоз-во.* 2017. № 1. С. 44-47.
- Alvarado V., Manrique E. Enhanced oil recovery: An update review. *Energies*. 2010. V. 3. N 9. P. 1529-1575. DOI: 10.3390/en3091529.
- Sheng J.J. A comprehensive review of alkaline-surfactantpolymer (ASP) flooding. *Asia-Pacific J. Chem. Eng.* 2014. V. 9. N 4. P. 471-489. DOI: 10.1002/apj.1824.

достижения максимума, соответствующего структурированию, наблюдается резкий спад, связанный с механическим разрушением образца, а модуль упругости после достижения максимума выходит на плато – формирующаяся структура сохраняется.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР № 121031500048-1).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The work was carried out within the State Assignment for IPC SB RAS, financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (NIOKTR 121031500048-1).

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

REFERENCES

- Romero-Zeron L. Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) – a Practical Overview. London: InTechOpen Ltd. 2016. 200 p. DOI: 10.5772/61394.
- 2. **Muslimov R.Kh.** Oil recovery: Past, Present, Future. Kazan': «FEN». 2012. 664 p. (in Russian).
- Altunina L.K., Kuvshinov V.A. Physico-chemical methods for enhanced oil recovery of oil fields (review). *Russ. Chem. Rev.* 2007. V. 76. N 10. P. 971-987. DOI: 10.1070/ RC2007v076n10ABEH003723.
- Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Stasyeva L.A., Kuvshinov I.V. Trends and prospects of physicochemical methods for enhanced oil recovery of heavy oil fields. *Chem. Sustain. Dev.* 2018. V. 26. N 3. P. 240-255. DOI: 10.15372/KhUR20180303.
- Muslimov R.Kh. Enhanced oil recovery is a priority direction for the development of the oil industry in modern Russia. *Neft. Gaz. Novatsii.* 2013. V. 4. N 171. P. 63-73 (in Russian).
- 6. **Ruzin L.M., Morozyuk O.A., Durkin S.M.** Features and innovative ways of highly viscous oil field development. *Neft. Khoz.* 2013. N 8. P. 51-53 (in Russian).
- Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Stasyeva L.A., Kuvshinov I.V. Enhanced oil recovery from high-viscosity oil deposits by acid systems based on surfactants, coordining solvents and complex compounds. *Georesursy.* 2019. V. 21. N 4. P. 103-113 (in Russian). DOI: 10.18599/grs.2019.4.103-113.
- 8. **Kuvshinov I.V., Kuvshinov V.A., Altunina L.K.** Field experience of thermotropic compositions application for enhanced oil recovery. *Neft. Khoz.* 2017. N 1. P. 44-47 (in Russian).
- Alvarado V., Manrique E. Enhanced oil recovery: An update review. *Energies*. 2010. V. 3. N 9. P. 1529-1575. DOI: 10.3390/en3091529.
- Sheng J.J. A comprehensive review of alkaline-surfactantpolymer (ASP) flooding. *Asia-Pacific J. Chem. Eng.* 2014. V. 9. N 4. P. 471-489. DOI: 10.1002/apj.1824.
- Sholidodov M.R., Kozlov V.V., Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Stas'eva L.A. Laboratory testing of acidic EOR oildisplacing compositions based on surfactants, inorganic acid

- Sholidodov M.R., Kozlov V.V., Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Stas'eva L.A. Laboratory testing of acidic EOR oildisplacing compositions based on surfactants, inorganic acid adduct and polyols. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.* 2022. V. 15. N 2. P. 186-196. DOI: 10.17516/1998-2836-0283.
- Малкин А.Я. Основы реологии. СПб.: ЦОП «Профессия». 2018. 336 с.
- Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. М.: Колосс. 2003. 311 с.
- Колешко В.М., Сунка В.Я., Полынкова Е.В., Крупская Е.В. Проектирование интеллектуальных сенсорных систем измерения вязкости. Минск: изд-во БНТУ. 2010. 81 с.
- Соловьев А.Н., Каплун А.Б. Вибрационный метод измерения вязкости жидкостей. Новосибирск: Наука. 1970. 142 с.
- 16. **Крутин В.Н.** Колебательные реометры. М.: Машиностроение. 1985. 160 с.
- Вибровискозиметр серии SV. Руководство по эксплуатации. Электронный ресурс: https://www.mirvesov.ru/docs/ guide/10138.pdf.
- Богословский А.В., Кожевников И.С. Архитектура камертонных датчиков вязкости. *Башкир. Хим. Журн.* 2023. Т. 30. № 1. С. 129-133. DOI: 10.17122/bcj-2023-1-129-133.
- Богословский А.В., Кожевников И.С., Алтунина Л.К. Вискозиметр тиксотропных жидкостей. *Журн. Сиб. федер.* ун-та. Техника и технологии. 2023. Т. 16. № 3. С. 287-295.
- Богословский А.В., Кожевников И.С., Стасьева Л.А., Алтунина Л.К. Определение точки гелеобразования полимерсодержащих составов вибрационным методом. Вести. ТвГУ. Сер.: Химия. 2017. № 4. С. 91-98.
- Вискозиметрический комплекс «Реосканк». Каталог оборудования ЦКП РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. Т. 1. Москва. 2010. С. 88. Электронный ресурс: www.gubkin.ru/general/structure/scientific_activity/files/Center_RGU.pdf.
- Богословский А.В., Галкин В.М., Кожевников И.С. Определение момента гелеобразования с использованием измерительных сосудов разной величины. Газ. Пром-сть. 2013. № 11. С. 98-100.
- Кожевников И.С., Богословский А.В. Реологические свойства низкотемпературных гелеобразующих составов. Изе. вузов. Химия и хим. технология. 2024. Т. 67. Вып. 8. С. 22-28. DOI: 10.6060/ivkkt.20246708.1t.
- Фуфаева М.С., Алтунина Л.К. Криогели для увеличения срока эксплуатации зимника. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2024. Т. 67. Вып. 8. С. 29-35. DOI: 10.6060/ivkkt.20246708.13t.

adduct and polyols. J. Sib. Fed. Univ. Chem. 2022. V. 15. N 2. P. 186-196. DOI: 10.17516/1998-2836-0283.

- Malkin A.Ya. Fundamentals of rheology. SPb.: TsOP "Professiya". 2018. 336 p. (in Russian).
- Shramm G. Fundamentals of Practical Rheology and Rheometry. M.: Koloss. 2003. 311 p. (in Russian).
- Koleshko V.M., Sunka V.Ya, Polynkova E.V., Krupskaya E.V. Designing intelligent sensor systems for viscosity measurement. Minsk: BNTU. 2010. 81 p. (in Russian).
- 15. **Solov'ev A.N., Kaplun A.B.** Vibration method for measuring the viscosity of liquids. Novosibirsk: Nauka. 1970. 142 p. (in Russian).
- Krutin V.N. Oscillating rheometers. M.: Mashinostroenie. 1985. 160 p. (in Russian).
- 17. Vibroviscometer of the SV series. Manual. Electronic resource: https://www.mirvesov.ru/docs/guide/10138.pdf.
- Bogoslovskii A.V., Kozhevnikov I.S. Architecture of tuningfork viscosity sensors. *Bashkir. Khim. Zhurn.* 2023. V. 30. N 1. P. 129-133 (in Russian). DOI: 10.17122/bcj-2023-1-129-133.
- Bogoslovskii A.V., Kozhevnikov I.S., Altunina L.K. Viscometer of thixotropic liquids. *Zhurn. Sib. Feder. Univ. Tekh. Tekhnol.* 2023. V. 16. N 3. P. 287-295 (in Russian).
- Bogoslovskii A.V., Kozhevnikov I.S., Stasyeva L.A., Altunina L.K. Determination the point of gelation of polymercontaining compositions of the vibrational method. *Vestn. TvGU. Ser.: Khim.* 2017. N 4. P. 91-98 (in Russian).
- Viscometric complex 'Reoskank'. Catalog of the equipment of the Central Collective Use Center of the I. M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. V 1. Moskva. 2010. P. 88. Electronic resource: www.gubkin.ru/general/structure/scientific_activity/files/Center_RGU.pdf.
- Bogoslovskii A.V., Galkin V.M., Kozhevnikov I.S. Determination of the gelation point using measuring vessels of various sizes. *Gaz. Prom.* 2013. N 11. P. 98-100 (in Russian).
- Kozhevnikov I.S., Bogoslovsky A.V. Rheological properties of low-temperature gelling compounds. *Chem-ChemTech. [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. J.* 2024. V. 67. N 8. P. 22-28 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246708.1t.
- Fufaeva M.S., Altunina L.K. Cryogels to increase the service life of winter roads. *ChemChemTech. [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*]. 2024. V. 67. N 8. P. 29-35 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246708.13t.

Поступила в редакцию 02.12.2024 Принята к опубликованию 27.02.2025

Received 02.12.2024 Accepted 27.02.2025