

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15593/2224-9400/2022.4.03

Научная статья

УДК 538.951

**Н.П. Углев, Н.С. Чугайнов**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

### ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

*Одним из методов исследования особенностей межчастичного взаимодействия в жидкостях может являться измерение коэффициента Джоуля–Томпсона, возникающего при дросселировании текучих сред через диафрагму или пористую перегородку. Этот метод преимущественно применяется при исследовании газообразных систем, однако общие термодинамические соотношения остаются справедливыми и при исследовании жидкостей. Фактически данные по жидкостям чрезвычайно редки, но, тем не менее, для них также получены интересные результаты.*

*Исследования коэффициента Джоуля–Томпсона обычно проводят в условиях установившегося режима протекания газа или жидкости через препятствие, однако установки такого типа достаточно сложны для исполнения, хотя и обладают рядом преимуществ. В представленной работе использовали установку импульсного типа, в которой измерение перепада температуры на диафрагме проводили за период пропускания через нее ограниченного количества вещества за счет выдавливания его из шприца при контролируемом давлении. Дифференциальная термопара типа ХА в сочетании со струнным гальванометром позволяла измерять динамический перепад температуры в ячейке с точностью до 0,001 °С.*

*Проведены полуколичественные исследования ряда жидкостей. Впервые определены коэффициенты Джоуля–Томпсона для галлия в переохлажденном и нормальном состоянии; оценены коэффициенты для ртути, n-гексана, воды. Впервые показано, что при изменении рН воды коэффициент Джоуля–Томпсона меняет знак от положительного для кислой и нейтральной среды до отрицательного для подщелоченной воды.*

*Сравнение с известными литературными данными показало полуколичественное согласие результатов, которые могут быть улучшены при использовании известной математической модели калориметрической ячейки.*

**Ключевые слова:** коэффициент Джоуля–Томпсона жидкостей, импульсный метод, переохлажденный галлий, смена знака коэффициента Джоуля–Томпсона, дросселирование жидкости, фильтр Шотта.

N.P. Uglev, N.S. Chugainov

Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

## THROTTLING OF LIQUIDS IN PULSE MODE

*One of the methods of studying the features of interparticle interaction in liquids can be the measurement of the Joule-Thompson coefficient, which occurs when throttling fluids through a diaphragm or a porous partition. This method is mainly used in the study of gaseous systems, but the general thermodynamic relations remain valid in the study of liquids. In fact, data on liquids are extremely rare, but, nevertheless, interesting results have also been obtained for them.*

*Studies of the Joule-Thompson coefficient are usually carried out under conditions of a steady flow of gas or liquid through an obstacle, however, installations of this type are quite complex to perform, although they have a number of advantages. In the presented work, a pulse-type installation was used, in which the temperature drop at the diaphragm was measured during the period of passing a limited amount of substance through it by squeezing it out of a syringe at a controlled pressure. A differential thermocouple of the XA type in combination with a string galvanometer made it possible to measure the dynamic temperature drop in the cell with an accuracy of 0.001 °C.*

*Semi-quantitative studies of a number of liquids have been carried out. The Joule-Thompson coefficients for supercooled and normal gallium were determined for the first time; the coefficients for mercury, n-hexane, and water were estimated. It is shown for the first time that when the pH of water changes, the Joule-Thompson coefficient changes its sign from positive for acidic and neutral media to negative for alkaline water.*

*Comparison with the known literature data showed a semi-quantitative agreement of the results, which can be improved by using the well-known mathematical model of the calorimetric cell.*

**Keywords:** *Joule-Thompson coefficient of liquids, pulse method, supercooled gallium, change of sign of the Joule-Thompson coefficient, liquid throttling, Schott filter.*

**Введение.** Для исследования жидкостей и их смесей используется практически весь арсенал существующих методов физико-химического анализа, позволяющих выявить особенности межчастичного взаимодействия в конденсированной фазе [1]. Наиболее часто с этой целью исследуются: структура (методами проникающего излучения), термодинамические свойства (энтальпия смешения, теплоемкость), свойства переноса (вязкость, диффузия, термодиффузия, расслоение в поле механических сил), поверхностные свойства, плотность, электрические свойства, эффекты, связанные с плавлением, и др. Эти исследования, проводимые уже не первое столетие, позволили значительно продвинуться к пониманию сути жидкого состояния, которые, тем не менее, до сих пор не позволяют дать четкое физическое определение жидкости [2–4]. В связи

с этим привлечение для исследования новых методов представляет интерес, поскольку анализ новых результатов, безусловно, будет способствовать выяснению сути явления.

Одним из практически забытых методов исследования физико-химических свойств текучих сред является определение коэффициента Джоуля–Томпсона при их дросселировании. Дифференциальный дроссель-эффект связан с теплоемкостью текучей среды, в нашем конкретном случае – жидкости с изобарным коэффициентом температурного расширения и удельным объемом, поэтому результаты его исследования могут дать дополнительную информацию о соотношении этих термодинамических параметров без их прямого измерения.

Следует заметить, что если дросселирование газов и их смесей изучено достаточно широко, исследование дросселирования жидкостей носит эпизодический характер, в связи с чем разработка методики и проведение подобных исследований достаточно актуальны.

**Аналитический обзор.** Эффект дросселирования связан с протеканием газа или жидкости через канал постоянного сечения, в котором есть местное сужение потока за счет диафрагмы, имеющей меньшее проходное сечение или выполненное в виде пористой перегородки. Процесс дросселирования является изоэнтальпийным [5, 6]. Поскольку скорость движения среды меньше звуковой, при прохождении местного сужения потока давление в нем всегда падает ( $dp < 0$ ), при этом часть энергии системы переходит в теплоту. Считается, что этой теплоты недостаточно для дальнейшего восстановления температуры среды, поэтому в канале после диафрагмы давление не восстанавливается и остается меньше исходного. Однако поскольку в процессе не совершается работа над окружающей средой, приведенное выше предположение не соответствует первому закону термодинамики. Скорее всего при дросселировании происходит перераспределение части энергии флюида между внешними и внутренними степенями свободы. В этом случае исследование эффекта Джоуля–Томпсона предоставляет прямую информацию о характере межчастичного взаимодействия в жидкости или газе [1].

Дифференциальный дроссель-эффект имеет численное представление в виде выражения для коэффициента Джоуля – Томпсона:

$$a = \left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_i. \quad (1)$$

Это соотношение связано с термодинамическими параметрами исследуемой среды уравнением

$$\frac{\partial T}{\partial p} = \frac{T \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p - v}{C_p}, \quad (2)$$

где  $T$  – температура;  $p$  – давление;  $i$  – энтальпия;  $v$  – молярный объем жидкости или газа;  $C_p$  – изобарная теплоемкость жидкости или газа.

Если принять, что теплоемкость в данном процессе положительна, знак коэффициента Джоуля–Томпсона определяется числителем дроби (2) [7].

Практическое использование эффекта Джоуля–Томпсона связано, в первую очередь, с системами охлаждения, например в бытовых и промышленных холодильниках, а также с ожижением газов. Для жидкостей практическое использование дросселирования неизвестно, хотя проводятся некоторые исследования, позволяющие оценить изменение температуры при движении жидких сред через пористые среды [8–10].

Методика измерения коэффициента Джоуля–Томпсона (далее – КДТ) достаточно сложна, поскольку требует высокой точности при измерении перепада давления на диафрагме в условиях задаваемых высоких давлений среды (до сотен атмосфер) при тщательной стабилизации температуры протекающей через диафрагму жидкости. При этом процесс должен проводиться в условиях гарантированного отсутствия парообразования или выпадения твердых кристаллов на диафрагме. Во всех случаях используется интегральная методика определения дроссель-эффекта, заключающаяся в измерении перепада температур в зоне сужения потока в условиях установившегося потока жидкости при установившемся перепаде давления [8]. КДТ для воды при 25 °С, определенный в этих условиях, составляет +0,0203 К/атм, т.е. при дросселировании вода в соответствии с выражением (1) незначительно охлаждается.

Основным недостатком вышеописанной методики является сложность ее практической реализации, поэтому в настоящей работе рассмотрен вариант дифференциальной методики измерения КДТ, заключающийся в импульсном пропускании исследуемой жидкости через диафрагму. В этом варианте установка рассматривается как микрокалориметр квазиadiaбатического типа, что позволяет применить для обработки результатов эксперимента известную математическую модель [11]. Преимуществом методики является простота и высокая чувствительность, а также возможность поведения исследований с малым количеством вещества; к недостаткам следует отнести трудность про-

ведения исследований при температурах, отличающихся от комнатной, и давлениях, отличающихся от атмосферного.

Основными целями работы являются отработка методики измерения КДТ для различных жидкостей и оценка чувствительности при сравнении с известными экспериментальными или расчетными значениями.

**Методика импульсного измерения коэффициента Джоуля–Томпсона.** Установка для измерения КДТ собрана на основе стеклянной ячейки, представленной на рис. 1. Внутренний диаметр капиллярной трубки и фильтра Шотта № 2 – 6 мм. С двух сторон от перегородки на расстоянии 1 мм от нее располагались шарики дифференциальной ХА-термопары. Термопара была электрически изолирована от измеряемой среды тонким слоем химически стойкого лака. При необходимости установка позволяла измерять электрокинетический потенциал с помощью введенных с двух сторон молибденовых электродов.

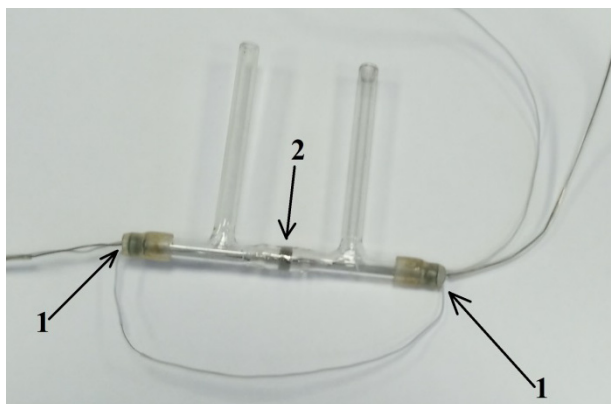


Рис. 1. Ячейка для измерения коэффициента Джоуля–Томпсона:  
1 – выходы дифференциальной термопары и электродов для измерения электрокинетического потенциала; 2 – фильтр Шотта

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Подачу жидкости осуществляли с помощью пластмассового медицинского шприца объемом 30 мл, что позволяло пропустить через дроссель за цикл измерения примерно 20 мл исследуемой жидкости за счет груза 7 весом 3 кг, подвешенного к рычагу второго рода 6. Сила, действующая на поршень 5, скорректированная с учетом силы трения поршня о стенки шприца, позволяла создать расчетное избыточное давление в системе чуть больше 2 атм. Равномерное опускание груза проходило в течение 3–4 с.

Сигнал от дифференциальной термопары, представляющий собой электрический импульс в виде резкого повышения напряжения до опре-

деленной амплитуды с последующим экспоненциальным снижением, подавали на баллистический зеркальный гальванометр М17/2, работающий в переуспокоенном режиме за счет выбора сопротивления термопары существенно ниже критической величины. Расчетная чувствительность калориметра при длине луча от зеркала до шкалы 2,29 м составляет 467 мм/К, это позволяло фиксировать быстрые изменения температуры в 0,001 К при сдвиге зайчика лазерного осветителя по шкале на 0,5 мм. Для устранения влияния на показания колебаний внешней температуры основная часть установки была полностью теплоизолирована от окружающей среды базальтовым волокном, что позволило добиться очень малого свободного хода калориметрической системы во временных рамках 15–20 мин. На схеме установки (см. рис. 2) зона теплоизоляции ограничена пунктирной линией. Холодные концы термопар с этой же целью были помещены в емкость с большой теплоемкостью.

Для предотвращения теплообмена жидкости в шприце с окружающей средой за счет теплопроводности штока 5, рычаг 6 был выполнен из дерева.

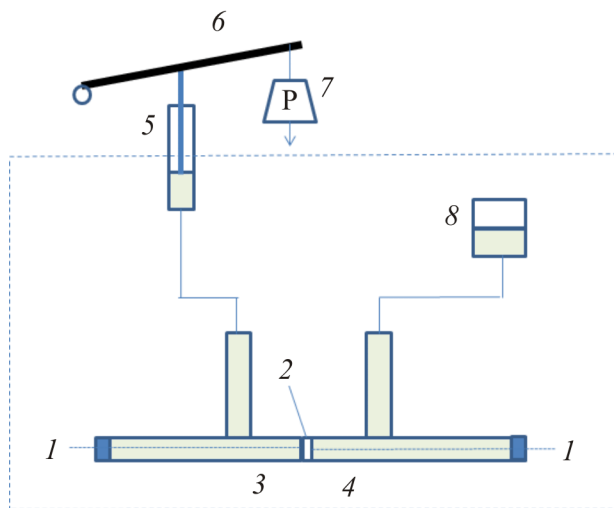


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для измерения КДТ:  
 1 – выводы термопар; 2 – диафрагма (фильтр Шотта); 3 – входной патрубок;  
 4 – выходной патрубок; 5 – шприц с жидкостью; 6 – рычаг; 7 – груз;  
 8 – приемная емкость. Пунктиром указана зона термостатирования

Важным условием качественного эксперимента является полное удаление воздуха из объема системы. После проведения измерения систему возвращали в исходное состояние за счет всасывания жидко-

сти из приемной емкости обратно в объем шприца. После этого проводили выдержку всей установки в течение 10–15 мин для выравнивания температуры в разных частях установки за счет теплообмена. Готовность системы к повторному измерению оценивали по прекращению свободного хода зайчика осветителя по шкале прибора. Эксперимент – процесс импульсного нагрева (или охлаждения) и последующего теплообмена ячейки с окружающей средой – оценивали с помощью видеосъемки движения зайчика по шкале прибора. При этом видеосъемка захватывала период 2–3 мин до момента подвешивания груза 7, весь период дросселирования жидкости (3–4 с) и период 5–7 мин после окончания процесса дросселирования, для фиксации процесса выравнивания температуры внутри ячейки.

**Результаты экспериментов и их обсуждение.** Исходную калибровку установки проводили при дросселировании воздуха как вещества с известным КДТ. При дросселировании воздуха амплитуда отклонения зайчика гальванометра составила  $26 \pm 6$  мм (при доверительной вероятности 95 %), что позволило оценить величину КДТ = +0,026 К/атм, в то время как справочное значение в этих условиях составляет +0,232 К/атм [12]. Столь значительное расхождение связано с основным недостатком нестационарной импульсной методики, заключающимся в протекании неравновесного теплообмена в выходном колене ячейки (см. рис. 2). Общая масса воздуха, пропущенного через дроссельную заслонку, во много раз меньше массы стеклянного капилляра, обладающего значительно большей полной теплоемкостью. В связи с этим температура в зоне измерения понизилась незначительно [13]. При использовании интегрального способа измерения КДТ теплообмен в ячейке протекает значительно большее время, и в системе успевает установиться тепловое равновесие. Эта особенность вышеописанной методики указывает на необходимость учета теплообмена в измерительной ячейке по выражению, описывающему эволюцию сигнала от дифференциальной термодомы (см. рис. 2) во времени:

$$t = \frac{b}{\chi - a} \cdot (1 - e^{\chi \tau_0}) \cdot e^{-\chi \tau} + \frac{b \cdot \chi}{a \cdot (\chi - a)} \cdot (e^{a \tau_0} - 1) \cdot e^{-a \tau}, \quad (3)$$

где  $a = \frac{\lambda' \cdot S' \cdot \beta'}{\delta' \cdot C_{II}'};$   $\lambda'$  – коэффициент теплопроводности от внешней стенки капилляра в окружающую среду;  $S'$  – поверхность теплообмена стенки капилляра с окружающей средой;  $\beta'$  – коэффициент формы

тела;  $\delta'$  – среднее эффективное расстояние теплообмена между внешней стенкой капилляра и окружающей средой;  $\chi = \frac{\lambda \cdot S \cdot \beta}{\delta \cdot C_0}$  – те же параметры, что и выше, но относящиеся к термопаре в чехле (слой лака);  $b = N/C'_\Pi$ ;  $N$  – мощность процесса тепловыделения;  $C'_\Pi$  – полная теплоемкость воздуха (жидкости) в объеме колена 4 (см. рис. 2) и стенок капилляра;  $\tau_0$  – длительность процесса собственно дросселирования.

Уравнение (3) позволяет ввести необходимые поправки для точного вычисления КДТ при известных значениях параметров, перечисленных выше [11].

*Дросселирование ртути.* Теоретический расчет по выражению (2) при использовании данных [14] приводит к величине  $a = -0,057$  К/атм. Из прямых измерений по вышеописанной методике, без введения вычислительных поправок, получено значение  $a = -0,020$  К/атм.

*Дросселирование галлия.* При температуре 25 °С величина  $a = -0,017$  К/атм. При температуре 31 °С  $a = -0,030$  К/атм. Следует обратить внимание на то, что первый результат относится к переохлажденному состоянию галлия, поскольку его температура плавления соответствует 29,8 °С. Измерение КДТ жидкости в переохлажденном состоянии выполнено впервые, однако результат единственный, поскольку при попытке повторного измерения, галлий почти мгновенно перешел в твердое состояние. По-видимому, при прохождении его через фильтр Шотта из-за разделения жидкости на отдельные струйки была изменена структура жидкости, которая поддерживала металл в переохлажденном состоянии, в результате чего в объеме образца началось интенсивное кристаллообразование [15, 16].

*n-Гептан.* Выбран как представитель жидкостей, имеющих наиболее простой тип электронных связей между молекулами. Полученная величина  $a = -0,023$  К/атм.

*Вода.* При проведении исследования неоднократно было замечено, что КДТ свежеприготовленной дистиллированной воды значительно выше, чем выдержанной сутки внутри измерительной ячейки. При рН = 7 усредненное значение  $a = +0,015$  К/атм, что достаточно близко к результатам [8, 9], представленным выше. Таким образом подтверждено, что вода охлаждается при дросселировании.

Неожиданный результат получен при изменении кислотности воды: так, при рН = 2 (добавка НСl)  $a = +0,016$  К/атм, что практически не отличается от чистой воды. При рН = 12 (добавка NH<sub>4</sub>OH)  $a = -0,019$  К/атм;



смена знака КДТ указывает на сильное влияние водородных связей на физико-химические свойства воды, в соответствии с уравнением (2).

Результаты исследования эффекта дросселирования жидкостей подтвердили предположение о влиянии тепловой инерции измерительной ячейки на результаты и необходимости доработки методики вычисления КДТ при использовании импульсного метода измерения.

Впервые показано сильное влияние кислотности воды на величину и знак КДТ.

Впервые проведено дросселирование переохлажденного галлия, КДТ которого существенно ниже КДТ галлия в нормальном состоянии, при незначительной разнице температуры в 6 °С.

### Список литературы

1. Убеллоде А.Р. Расплавленное состояние вещества. – М.: Металлургия, 1982. – 376 с.
2. Бейлин А.Ю. О строении чистых жидкостей и механизме их формирования при плавлении // Башкирский химический журнал. – 2001. – Т. 8, № 2. – С. 23–31.
3. Павлов В.В. О «кризисе» кинетической теории жидкости и затвердевания (Необходимое изменение традиционной молекулярной модели жидкости и твердого тела) / Урал. гос. горн. ун-т. – Екатеринбург, 1997. – 392 с.
4. Павлов В.В. Кризис классической кинетической теории: научная моногр. / Урал. гос. горн. ун-т. – Екатеринбург, 2018. – 423 с.
5. Техническая термодинамика / Е.В. Дрыжаков, Н.П. Козлов, Н.К. Корнейчук [и др.], под ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1971. – 471 с.
6. Фокин Л.Р. Линия инверсии дроссель-эффекта Джоуля–Томпсона для жидкой ртути // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 24. – С. 99–101.
7. Tamas K. Molecular simulation of the Joule–Thomson inversion curve of hydrogen sulphide // Molecular Physics. – 2005. – Vol. 103, no. 4. – P. 537–545.
8. Исследование термогидродинамических процессов на модели пористой среды / Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, А.И. Гафуров, В.Я. Федотов // Вестник Башкирского университета. Математика, механика и физика. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 340–344.
9. Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Шарафутдинов Р.Ф. Баротермический эффект при трехфазной фильтрации с фазовыми переходами // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 1994. – № 6. – С. 113–117.
10. Gladkov S.O. On the connection of Joule-Thompson's coefficient with dissipation properties of filtrating media // Eur. Phys. J. – 2003. – E 10. – P. 171–174.
11. Скуратов С.М., Колесов В.П., Воробьев А.Ф. Термохимия: в 2 т. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – Т. 1. – 302 с.

12. Углев Н.П. Теплоемкость бинарных металлических расплавов на основе олова, висмута, индия и свинца: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. – Пермь, 1987. – 197 с.

13. Кикоин И.К. Таблицы физических величин: справ. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

14. Вилсон Д.Р. Структура жидких металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1972. – 247 с.

15. Александров В.Д. Влияние перегрева расплава галлия на его переохлаждение при кристаллизации // Металлы. – 2014. – № 1. – С. 198–204.

16. Филиппов Л.П., Ершова Н.Г., Смирнова Н.Н. К вопросу об изменении свойств жидкостей при переохлаждении // Вестник МГУ. – 1960. – № 4. – С. 21.

## References

1. Ubellode, A.R. Rasplavlennoe sostoyanie veshchestva [The molten state of the substance]. Moscow. Metallurgiya, 1982. 376 p.

2. Bejlin, A.YU. O stroenii chistyh zhidkostej i mekhanizme ih formirovaniya pri plavlenii [On the structure of pure liquids and the mechanism of their formation during melting]. *Bashkirskij himicheskij zhurnal*. 2001. Vol.8, no.2. pp. 23-31.

3. Pavlov, V.V. O “krizise” kineticheskoy teorii zhidkosti i zatverdevaniya (Neobhodimoe izmenenie tradicionnoj molekulyarnoy modeli zhidkosti i tverdogo tela) [On the “crisis” of the kinetic theory of liquid and solidification (A necessary change in the traditional molecular model of liquid and solid)]. *Nauchnoe izdanie*. – Ekaterinburg, UGGGA, 1997. 392 p.

4. Pavlov, V.V. Krizis klassicheskoy kineticheskoy teorii: nauchnaya monografiya [The crisis of classical kinetic theory: a scientific monograph]. Ural. gos. gornyj universitet. Ekaterinburg: Izd. UGGU, 2018. 423 p.

5. Dryzhakov E.V. Tekhnicheskaya termodinamika [Technical thermodynamics] Moscow: Vysshaya shkola, 1971. 471 p.

6. Fokin L.R. Liniya inversii drossel-effekta Dzhoullya-Tompsona dlya zhidkoj rtuti [The Joule-Thomson throttle-effect inversion line for liquid mercury]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17, no.24. pp. 99-101.

7. Tamas K. i dr. Molecular simulation of the Joule–Thomson inversion curve of hydrogen sulphide [Molecular simulation of the Joule–Thomson inversion curve of hydrogen sulphide]. *Molecular Physics*.- 2005, 20 February. Vol. 103, no. 4. pp. 537–545.

8. R. A. Valiullin, R. F. Sharafutdinov, A. I. Gafurov, V. YA. Fedotov. Issledovanie termogidrodinamicheskikh processov na modeli poristoj sredy [Investigation of thermohydrodynamic processes on a porous medium model]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta. Matematika, mekhanika i fizika*, 2017. Vol. 22, no.2. pp.340-344.

9. R.A. Valiullin, A. SH. Ramazanov, R. F. Sharafutdinov Baro-termicheskiy effekt pri trekhfaznoj filtratsii s fazovymi perekhodami [Barothermal effect in three-phase filtration with phase transitions]. *Izv. RAN, MZHG*. 1994. no. 6, pp.113 - 117.
10. Gladkov S. O. On the connection of Joule-Thompson's coefficient with dissipation properties of filtrating media [On the connection of Joule-Thompson's coefficient with dissipation properties of filtrating media] / S.O. Gladkov // *Eur. Phys. J. E* 10, 2003. pp. 171–174.
11. S.M. Skuratov, V.P. Kolesov, A.F. Vorob'yov. Termohimiya [Thermochemistry]. Moscow MGU. Vol.1. 1964. 302 p.
12. Uglev N.P. Teploemkost binarnykh metallicheskiykh rasplavov na osnove olova, vismута, indiya i svinca [The heat capacity of binary metal melts based on tin, bismuth, indium and lead]: Ph. D. thesis. Perm, 1987, 197 p.
13. Kikoin I.K. Tablicy fizicheskikh velichin [Tables of physical quantities]: Spravochnik/. – Moscow.: Atomizdat, 1976. 1008 p.
14. Vilson, D.R. Struktura zhidkiykh metallov i splavov [Structure of liquid metals and alloys]. Moscow.: Metallurgiya, 1972. 247 p.
15. Aleksandrov V.D. Vliyanie peregreva rasplava galliya na ego pereohlazhdenie pri kristallizatsii [The effect of overheating of the gallium melt on its supercooling during crystallization]. *Metally*. 2014. no.1. pp.198-204.
16. L.P. Filippov, N.G. Ershova, N.N. Smirnova K voprosu ob izmenenii svoystv zhidkostey pri pereohlazhdenii [On the issue of changing the properties of liquids during hypothermia]. *Vestnik MGU*. 1960. no. 4. p.21.

### Об авторах

**Углев Николай Павлович** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр. 29; e-mail: ouglev@mail.ru).

**Чугайнов Никита Сергеевич** (Пермь, Россия) – бакалавр, студент кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр. 29).

### About the authors

**Nikolay P. Uglev** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: ouglev@mail.ru).

**Nikita S. Chugainov** (Perm, Russian Federation) – Bachelor, Student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990).

Поступила: 29.08.2022

Одобрена: 15.11.2022

Принята к публикации: 15.12.2022

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Углев, Н.П. Дросселирование жидкостей в импульсном режиме / Н.П. Углев, Н.С. Чугайнов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 4. – С. 26–37.

Please cite this article in English as:

Uglev N.P., Chugainov N.S. Throttling of liquids in pulse mode. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2022, no. 4, pp. 26-37 (*In Russ*).