

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ПАРА И КИПЯЩЕГО РАСТВОРА В РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ

А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, Н. А. Прохоренко

*Кафедра «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»,
steeples@mail.ru; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», Волгоград, Россия*

Ключевые слова: газодинамика; гидродинамика; массообмен; профиль скорости; ректификация; скорость потока; структура потока; теплообмен.

Аннотация: Дано описание безиндикаторного метода определения структуры потоков пара и кипящего раствора в укрепляющей и исчерпывающей частях ректификационной колонны по экспериментальным данным зависимости профиля скорости или скоростного напора от радиуса. Выведены формулы зависимости дифференциальных и интегральных кривых отклика и дисперсии (центрального момента второго порядка) с определением числа Пекле продольной диффузии.

Введение

Массообменные процессы и аппараты широко используются в технологических линиях многих отраслей промышленности. Так, например, в химической и нефтегазоперерабатывающей промышленности – процессы абсорбции, экстракции, ректификации, протекающие в насадочных и тарельчатых колонных массообменных аппаратах [1 – 5]; в теплоэнергетике – испарительное охлаждение промышленной оборотной воды в насадочных теплообменниках [6 – 8]; в экологических процессах – очистка газовых выбросов и жидких сбросов в адсорберах, абсорберах, скрубберах, ионообменных аппаратах и др. [9 – 16].

Методы расчета массообменных процессов (абсорбции, ректификации, экстракции) в насадочных колоннах с учетом продольной диффузии известны и используются при проектировании массообменных насадочных колонн [17, 18]. Рассмотрим основные трудности, возникающие при определении параметров структуры потоков пара и кипящего раствора при моделировании процесса ректификации с учетом продольной диффузии.

Известный так называемый индикаторный метод определения дифференциальных и интегральных кривых отклика с последующим определением их основных параметров (дисперсии и среднего времени пребывания) основан на подаче входного импульсного или ступенчатого сигнала (индикатора или метки) и регистрации молекул или ионов метки на выходе [19 – 22]. Но сами авторы данных работ указывают на сложности реализации и недостатки метода:

- сложность выбора индикатора, особенно для паровой или газовой фазы;
- опасность и высокая стоимость проводимых исследований, например, при применении в качестве индикатора радиоактивных изотопов;
- неточности формы стандартных входных сигналов, отличающихся от δ -функции Дирака для входного импульсного сигнала или вертикальности скачка ступенчатого сигнала;

– возможные потери части индикатора внутри объекта при его налипании на стенки аппарата или поверхности насадочных тел, элементов тарелок или других контактных устройств. Последнее особенно характерно для ректификационных колонн, так как молекулы или ионы индикатора после их подачи на вход в паровую или жидкую фазу переходят взаимно друг в друга при кипении и конденсации и на выходе не все регистрируются в соответствующих фазовых потоках.

Цель работы – разработка безиндикаторного метода определения параметров структуры потоков паровой и кипящей жидкой фаз на основе экспериментальной зависимости профиля скорости от радиуса.

Исходя из физического смысла элементарной площади, под дифференциальной C -функцией отклика как доли частиц (молекул), выходящих из объекта в момент нормированного времени θ за время $d\theta$ [19 – 22], можно записать

$$Cd\theta = \frac{2\pi v r dr}{v_c \pi R^2}, \quad (1)$$

где $\theta = t/\tau$ – нормированное безразмерное время пребывания молекул кипящей жидкости или пара в колонне, t, τ – соответственно текущее и среднее время пребывания, с; v, v_c – локальная скорость на радиусе r и средняя соответственно, м/с; R – радиус колонны, м.

Так как $\frac{t}{\tau} = \left(\frac{H/v}{H/v_c} \right)$, где H – высота колонны (укрепляющей или исчерпывающей ее частей), то

$$d\theta = -\frac{v_c}{v^2} dv. \quad (2)$$

Подставляя значение $d\theta$ из (2) в формулу (1), после алгебраических преобразований получаем уравнение для определения дифференциальной C -кривой отклика по профилю скорости

$$C = -\frac{2}{R^2} \frac{v^3 r}{v_c^2 (dv/dr)}, \quad (3)$$

где знак минус учитывает, что градиент скорости $(dv/dr) < 0$, то есть с ростом радиуса r от 0 до R скорость монотонно уменьшается.

При равных интервалах разбиения по радиусу $\Delta r = R/n$, где n – число интервалов разбиения радиуса аппарата, уравнение (3) в численном виде принимает вид

$$C = -\frac{2\Delta r}{(Rv_c)^2} \left[\frac{v_i^3 r_i}{v_i - v_{i-1}} \right]. \quad (4)$$

При измерении локальных скоростей потоков жидкой и паровой фаз в колонных аппаратах с помощью трубки Пито–Прандтля возникают проблемы, связанные с определением плотности паровой фазы [23 – 25]. Действительно, при пересчете скоростного потока в локальную скорость

$$v_i = \sqrt{\frac{2\rho_M h_i g}{\rho_{\Pi}}}, \quad (5)$$

где ρ_M, ρ_{Π} – соответственно плотность манометрической жидкости и пара, кг/м³; h_i – высота столба манометрической жидкости, м. Однако пар может быть не на-

сыщенным, а влажным, что подтвердили экспериментальные исследования на лабораторной ректификационной колонне [17], поэтому формулу (4) с учетом уравнения (5) целесообразно упростить.

Так как исходя из уравнения неразрывности

$$\sum_{i=1}^n 2\pi r_i v_i \Delta r = \pi R^2 v_c,$$

то

$$v_c = \frac{2\Delta r}{R^2} \sum_{i=1}^n r_i v_i$$

или

$$v_c = \left(\frac{2\Delta r}{R^2} \sqrt{\frac{2\rho_M g}{\rho_{\Pi}}} \right) \sum_{i=1}^n r_i \sqrt{h_i},$$

$$\frac{v_i}{v_c} = \frac{\sqrt{h_i}}{\left(\frac{2\Delta r}{R^2} \right) \sum_{i=1}^n r_i \sqrt{h_i}}, \quad (6)$$

то есть в отношении скоростей локальной и средней отсутствуют плотности жидкой и паровой фаз.

Тогда, с учетом формулы (6), расчетная формула (4) для *C*-кривой отклика приводится к виду

$$C = \left(\frac{nR}{2} \right) \left(\frac{h_i r_i \sqrt{h_i}}{\text{abs}(\sqrt{h_i} - \sqrt{h_{i-1}})} \right) \left/ \left(\sum_{i=1}^n r_i \sqrt{h_i} \right)^2 \right. . \quad (7)$$

Следует отметить особенности полученной расчетной формулы (7) для дифференциальной *C*-кривой отклика: во-первых, локальные значения h_i могут быть меньше h_{i-1} , поэтому их разность берется по абсолютной величине (abs), так как значения *C*-кривой не могут быть отрицательными; во-вторых, при равенстве h_i и h_{i-1} *C*-кривая имеет локальные всплески, теоретически стремящиеся к бесконечности, как δ -функция Дирака при входном импульсном сигнале. Такие всплески реально имеют место в комбинированных моделях, когда в них есть звено идеального вытеснения [19 – 22].

По аналогии выведем расчетное уравнение для интегральной *F*-кривой отклика [19 – 22]

$$F = \int_0^{\theta} C d\theta$$

или, с учетом уравнений (1) и (6),

$$F = \int_0^r \frac{2v_r dr}{v_c R^2} = \sum_{i=1}^k r_i \sqrt{h_i} \left/ \sum_{i=1}^n r_i \sqrt{h_i} \right., \quad (8)$$

то есть интегральная кривая отклика в предлагаемом безиндикаторном способе определяется как функция высоты манометрического столба жидкости от радиуса без перехода к скоростям парового или жидкого потока и без значения плотностей жидкости или пара и манометрической жидкости.

Также можно перейти и к расчетной формуле зависимости дисперсии центрального момента второго порядка – по зависимости высоты столба манометрической жидкости от радиуса.

Дисперсия как центральный момент второго порядка определяется в виде [19 – 22]

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} C\theta^2 d\theta - 1.$$

С учетом уравнения (1)

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} \frac{2v_r dr}{v_c R^2} - 1.$$

Переходя к расчетному виду с учетом формулы (6), получаем

$$\sigma^2 = \left(\frac{2}{nR}\right)^2 \sum_{i=1}^n (r_i \sqrt{h_i}) \sum_{i=1}^n (r_i / \sqrt{h_i}) - 1.$$

Для идеального вытеснения $h_i = \text{const}$, так как скорость по сечению аппарата постоянна и равна средней. Тогда

$$\sigma^2 = \left(\frac{2n}{R}\right)^2 \left[\sum_{i=1}^n r_i \right]^2 - 1.$$

Так как

$$\sum_{i=1}^n r_i = 0 + \Delta r + 2\Delta r + \dots + n\Delta r,$$

то есть сумме членов арифметической прогрессии, то она равна $nR/2$, дисперсия $\sigma^2 = 0$. Это известное условие дисперсии для идеального вытеснения.

Заключение

Таким образом, предлагаемый безиндикаторный метод определения дифференциальной и интегральной кривых отклика, а также и их дисперсий, дает следующие преимущества. Во-первых, по профилю скорости определять характеристики структуры потоков паровой, газовой и жидкой фаз в объектах химической технологии: ректификационных, абсорбционных, экстракционных, адсорбционных, ионообменных и реакторных колонных аппаратах. Во-вторых, даже не переходя к зависимостям профиля скорости от радиуса, определять вышеназванные характеристики структуры потоков по высоте манометрического столба жидкости без учета (знания) плотностей паровой, газовой или жидкой фаз в колонне и плотности самой манометрической жидкости, а по форме получаемых C - и F -кривых отклика определять модели структуры потоков: ячеичную, диффузионную или комбинированные с последовательным и параллельным расположением звеньев идеального вытеснения и смешения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых-кандидатов наук МК-1287.2020.8 «Моделирование процессов управления в массообменном экологическом и нефтегазоперерабатывающем оборудовании».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90002.

Список литературы

1. Насадки массообменных колонн / Б. А. Сокол, А. К. Чернышев, Д. А. Баранов [и др.] ; под ред. Д. А. Баранова. – М. : Инфохим, 2009. – 358 с.
2. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов / А. М. Каган, А. Г. Лаптев, А. С. Пушнов, М. И. Фарахов. – Казань : Отечество, 2013. – 454 с.
3. Степыкин, А. В. Массообменные характеристики регулярной насадки с внедренными теплообменными модулями / А. В. Степыкин, А. А. Сидягин, В. М. Ульянов // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та.* – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 445 – 452. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.445-452
4. Коновалов, В. И. Основные пути энергосбережения и оптимизации в тепло- и массообменных процессах и оборудовании / В. И. Коновалов, Н. Ц. Гатапова // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та.* – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 796 – 811.
5. Голованчиков, А. Б. Уравнение фильтрации для насадочных контактных устройств / А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, Н. А. Меренцов // *Хим. и нефтегазовое машиностроение.* – 2017. – № 1. – С. 8 – 10. doi: 10.1007/s10556-017-0285-y
6. Дмитриев, А. В. Экспериментальное исследование гидравлических и теплообменных показателей наклонно-гофрированных контактных элементов оросителя градирни / А. В. Дмитриев, И. Н. Мадышев, О. С. Дмитриева // *Экология и промышленность России.* – 2020. – Т. 24, № 1. – С. 4 – 8. doi: 10.18412/1816-0395-2020-1-4-8
7. Перспективный насадочный материал для контактных устройств испарительного охлаждения оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский // *Хим. и нефтегазовое машиностроение.* – 2021. – № 5. – С. 33 – 36. doi: 10.1007/s10556-021-00953-6
8. Дмитриев, А. В. Определение эффективности охлаждения оборотной воды в струйно-барботажных контактных элементах / А. В. Дмитриев, И. Н. Мадышев, О. С. Дмитриева // *Экология и промышленность России.* – 2016. – Т. 20, № 6. – С. 4 – 7. doi: 10.18412/1816-0395-2016-6-4-7
9. Химвинга, М. Интенсификация процесса абсорбционной очистки газов в аппаратах распылительного типа / М. Химвинга, С. Ю. Панов // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та.* – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 58 – 67.
10. Дмитриев, А. В. Очистка промышленных газов от аэрозольных частиц в аппаратах со струйно-пленочным взаимодействием фаз / А. В. Дмитриев, И. Н. Мадышев, О. С. Дмитриева // *Экология и промышленность России.* – 2018. – Т. 22, № 6. – С. 10 – 14. doi: 10.18412/1816-0395-2018-6-10-14
11. Голованчиков, А. Б. Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне, работающей в режиме эмульгирования / А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, А. В. Качанов // *Экология и промышленность России.* – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 24 – 29. doi: 10.18412/1816-0395-2021-3-24-29
12. Математическое моделирование процесса адсорбции углекислого газа / В. Г. Матвейкин, С. Б. Путин, С. А. Скворцов, С. С. Толстошеин // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та.* – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 603 – 609.
13. Сергунин, А. С. Исследование динамики адсорбции и десорбции паров воды активным оксидом алюминия и цеолитом NaX / А. С. Сергунин, С. И. Симаненков, Н. Ц. Гатапова // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та.* – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 664 – 671.
14. Беляев, Д. С. Математическое моделирование процесса адсорбционного разделения газовой смеси при многослойной загрузке шихты / Д. С. Беляев,

С. Б. Путин, С. А. Скворцов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12, № 2. – С. 409 – 417.

15. Ломовцева, Е. Е. О пористой структуре гибридных сорбирующих материалов для осушки воздуха / Е. Е. Ломовцева, М. А. Ульянова, Н. Ц. Гаганова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 299 – 305.

16. Моделирование процессов управления в экологическом массообменном оборудовании : монография / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев. – Волгоград : ВолгГТУ, 2020. – 188 с.

17. Голованчиков, А. Б. Моделирование структуры потока в насадочных и тарельчатых ректификационных колоннах : монография / А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко, Н. А. Меренцов. – Волгоград : ВолгГТУ, 2020. – 168 с.

18. Голованчиков, А. Б. Моделирование сорбционных процессов с учетом структуры потока : монография / А. Б. Голованчиков, О. А. Залипаева, Н. А. Меренцов. – Волгоград : ВолгГТУ, 2018. – 128 с.

19. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль ; пер. с англ. под ред. М. Г. Слинько. – М. : Химия, 1969. – 621 с.

20. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 464 с.

21. Закгейм, А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов / А. Ю. Закгейм. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1982. – 288 с.

22. Тябин, Н. В. Методы кибернетики в реологии и химической технологии : учеб. пособие / Н. В. Тябин, А. Б. Голованчиков. – Волгоград : ВПИ, 1983. – 104 с.

23. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие / А. Г. Касаткин. – Изд. 14-е, стер. – Перепечатка с 9-го изд. 1973 г. – М. : Альянс, 2008. – 750 с.

24. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 656 с.

25. Модели и эффективность процессов межфазного переноса. Часть 1. Гидромеханические процессы / А. Г. Лаптев, М. М. Башаров, Е. А. Лаптева, Т. М. Фарахов. – Казань : Центр инновационных технологий, 2017. – 392 с.

Determination of the Flow Structure of Steam and Boiling Streams in the Rectification Column

A. B. Golovanchikov, N. A. Merentsov, N. A. Prokhorenko

Department of Processes and Apparatuses of Chemical and Food Production, steple@mail.ru; Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Keywords: flow structure; hydrodynamics; gas dynamics; flow rate; velocity profile; mass exchange; heat and mass exchange; rectification.

Abstract: The paper describes an indicator-free method for determining the structure of steam and boiling solution flows in the reinforcing and exhaustive parts of the rectification column based on experimental data of the velocity profile or velocity head from the radius. Equations of dependence of differential and integral curves of response and dispersion (central moment of the second order) on these experimental data with determination of the Peclet number of longitudinal diffusion are derived.

References

1. Sokol B.A., Chernyshev A.K., Baranov D.A. [Ed.] [et al.] *Nasadki massoobmennyykh kolonn* [Packages of mass transfer columns], Moscow: Infokhim, 2009, 358 p. (In Russ.)
2. Kagan A.M., Laptev A.G., Pushnov A.S., Farakhov M.I. *Kontaktnyye nasadki promyshlennykh teplomassoobmennyykh apparatov* [Contact nozzles of industrial heat and mass exchangers], Kazan: Otechestvo, 2013, 454 p. (In Russ.)
3. Stepykin A.V., Sidyagin A.A., Ul'yanov V.M. [Mass transfer characteristics of a regular packing with integrated heat exchange modules], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 445-452, doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.445-452 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Konovalov V.I., Gatapova N.Ts. [Main ways of energy saving and optimization in heat and mass transfer processes and equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 796-811. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Golovanchikov A.B., Balashov V.A., Merentsov N.A. [Filtration equation for packed contact devices], *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye* [Chemical and oil and gas engineering], 2017, no. 1, pp. 8-10, doi: 10.1007/s10556-017-0285-y (In Russ.)
6. Dmitriyev A.V., Madyshev I.N., Dmitriyeva O.S. [Experimental study of hydraulic and heat and mass transfer indicators of inclined-corrugated contact elements of a cooling tower sprinkler], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2020, vol. 24, no. 1, pp. 4-8, doi: 10.18412/1816-0395-2020-1-4-8 (In Russ., abstract in Eng.)
7. Merentsov N.A., Golovanchikov A.B., Lebedev V.N., Persidskiy A.V. [Promising packing material for contact devices for evaporative cooling of circulating water], *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye* [Chemical and oil and gas engineering], 2021, no. 5, pp. 33-36, doi: 10.1007/s10556-021-00953-6 (In Russ.)
8. Dmitriyev A.V., Madyshev I.N., Dmitriyeva O.S. [Determination of the efficiency of circulating water cooling in jet-bubbling contact elements], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2016, vol. 20, no. 6, pp. 4-7, doi: 10.18412/1816-0395-2016-6-4-7 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Khimvinga M., Panov S.Yu. [Intensification of the absorption process of gas cleaning in spray-type devices], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 1, pp. 58-67. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Dmitriyev A.V., Madyshev I.N., Dmitriyeva O.S. [Purification of industrial gases from aerosol particles in devices with jet-film interaction of phases], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, vol. 22, no. 6, pp. 10-14, doi: 10.18412/1816-0395-2018-6-10-14 (In Russ., abstract in Eng.)
11. Golovanchikov A.B., Merentsov N.A., Kachanov A.V. [Modeling the absorption process in a packed column operating in emulsification mode], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2021, vol. 25, no. 3, pp. 24-29, doi: 10.18412/1816-0395-2021-3-24-29 (In Russ., abstract in Eng.)
12. Matveykin V.G., Putin S.B., Skvortsov S.A., Tolstoshein S.S. [Mathematical modeling of the adsorption process of carbon dioxide], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2010, vol. 16, no. 3, pp. 603-609. (In Russ., abstract in Eng.)
13. Sergunin A.S., Simanenkov S.I., Gatapova N.Ts. [Study of the dynamics of adsorption and desorption of water vapor by active aluminum oxide and zeolite Nax], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 664-671. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Belyayev D.S., Putin S.B., Skvortsov S.A. [Mathematical modeling of the process of adsorption separation of a gas mixture with multilayer loading of a charge], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2006, vol. 12, no. 2, pp. 409-417. (In Russ., abstract in Eng.)

15. Lomovtseva Ye.Ye., Ul'yanova M.A., Gatapova N.Ts. [On the porous structure of hybrid sorbing materials for air drying], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 299-305. (In Russ., abstract in Eng.)

16. Merentsov N.A., Golovanchikov A.B., Persidskiy A.V., Lebedev V.N. *Modelirovaniye protsessov upravleniya v ekologicheskom massoobmennom oborudovanii: monografiya* [Modeling of control processes in ecological mass transfer equipment: monograph], Volgograd: VolgGTU, 2020, 188 p. (In Russ.)

17. Golovanchikov A.B., Prokhorenko N.A., Merentsov N.A. *Modelirovaniye struktury potoka v nasadochnykh i tarel'chatykh rektifikatsionnykh kolonnakh: monografiya* [Modeling the structure of the flow in packed and plate rectification columns: monograph], Volgograd: VolgGTU, 2020, 168 p. (In Russ.)

18. Golovanchikov A.B., Zalipayeva O.A., Merentsov N.A. *Modelirovaniye sorbtionnykh protsessov s uchetom struktury potoka: monografiya* [Modeling of sorption processes taking into account the flow structure: monograph], Volgograd: VolgGTU, 2018, 128 p. (In Russ.)

19. Levenshpil' O., Slin'ko M. G. [Ed.] *Inzhenernoye oformleniye khimicheskikh protsessov* [Engineering design of chemical processes], Moscow: Khimiya, 1969, 621 p. (In Russ.)

20. Kafarov V.V. *Metody kibernetiki v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Methods of cybernetics in chemistry and chemical technology], Moscow: Khimiya, 1976, 464 p. (In Russ.)

21. Zakgeym A.Yu. *Vvedeniye v modelirovaniye khimiko-tekhnologicheskikh protsessov* [Introduction to the modeling of chemical-technological processes], Moscow: Khimiya, 1982, 288 p. (In Russ.)

22. Tyabin N.V., Golovanchikov A.B. *Metody kibernetiki v reologii i khimicheskoy tekhnologii: uchebnoye posobiye* [Methods of cybernetics in rheology and chemical technology: textbook], Volgograd: VPI, 1983, 104 p. (In Russ.)

23. Kasatkin A.G. *Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii: ucheb. posobiye* [Basic processes and apparatuses of chemical technology: textbook], Moscow: Al'yanS, 2008, 750 p. (In Russ.)

24. Ramm V.M. *Absorbtsiya gazov* [Gas absorption], Moscow: Khimiya, 1976, 656 p. (In Russ.)

25. Laptev A.G., Basharov M.M., Lapteva Ye.A., Farakhov T.M. *Modeli i effektivnost' protsessov mezhfaznogo perenos. Chast' 1. Gidromekhanicheskiye protsessy* [Models and efficiency of interphase transfer processes. Part 1. Hydromechanical processes], Kazan: Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy, 2017, 392 p. (In Russ.)

Bestimmung der Parameter der Struktur der Dampfströme und siedender Lösung in der Destillationskolonne

Zusammenfassung: Es ist das Nichtindikatorverfahren zur Bestimmung der Struktur von Dampf- und Siedelösungsströmungen in den Verstärkungs- und Abgasteilen einer Destillationskolonne anhand von experimentellen Daten über die Abhängigkeit des Geschwindigkeitsprofils oder der Geschwindigkeitshöhe vom Radius beschrieben. Mit der Bestimmung der Peclet-Zahl der Längsdiffusion sind Formeln für die Abhängigkeit von differentiellen und integralen Antwortkurven und Dispersion (der zentrale Moment der zweiten Ordnung) abgeleitet.

Détermination des paramètres de la structure des flux du vapeur et de la solution bouillante dans la colonne de rectification

Résumé: Est décrite une méthode non indicative pour déterminer la structure des flux du vapeur et de la solution bouillante dans les parties de renforcement et d'épuisement de la colonne de rectification suivant des données expérimentales de la dépendance du profil de vitesse ou de la pression de vitesse à partir du rayon. Sont déduites les formules de dépendance des courbes de réponse et de variance différentielles et intégrales (moment central du second ordre) avec la détermination du nombre Péclet de diffusion longitudinale.

Авторы: *Голованчиков Александр Борисович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»; *Меренцов Николай Анатольевич* – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»; *Прохоренко Наталия Андреевна* – старший преподаватель кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия.