

УДК 66.021.1:66.063.8

К РАСЧЕТУ СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ

TO THE CALCULATION OF STATIC MIXERS

Алушкина Т.В., Клыков М.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
филиал, г. Салават, Российская Федерация

T.V. Alushkina, M.V. Klykov

Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Salavat,
Russian Federation

e-mail: alu1@yandex.ru

Аннотация. Эффективное перемешивание жидкостей является одной из стадий многих технологий. Статические смесители для перемешивания жидкостей не имеют движущихся частей, компактны и обладают высокой надежностью. В связи с этим статические смесители получили широкое распространение в различных процессах нефтепереработки и нефтехимии при получении однородных растворов с различной концентрацией компонентов. Для разработки конструкций смесителей требуется методика расчета и моделирования. В работе представлена диффузионная модель перемешивания жидкостей в статических смесителях насадочного типа.

При смешении в блоках насадки статического смесителя частицы компонентов совершают разнонаправленное движение подобно броуновскому как в горизонтальном направлении, так и по оси статического смесителя.

В работе исследовалось поперечное перемешивание компонентов в блоках насадки статического смесителя для случая расположения точек

подачи одного из компонентов в поперечном сечении статического смесителя по квадратной и по треугольной сеткам.

Для нахождения концентрации компонента в произвольной точке с координатами x , y было получено аналитическое решение изотропной диффузионной модели турбулентной диффузии жидкости при одноточечной и многоточечной подаче компонента и неограниченной диффузии жидкости из каждой точки орошения. Определение коэффициента турбулентной диффузии в статическом смесителе осуществлялось при подаче перемешиваемого компонента (индикатора) по оси смесителя. Установлено, что равномерность перемешивания компонентов в статическом смесителе возрастает при многоточечной подаче одного из компонентов по сечению статического смесителя. Найдено оптимальное расположение точек орошения по сечению статического смесителя с изотропной насадкой. Разработана методика исследования коэффициента турбулентной диффузии перемешиваемой среды в насадках статического смесителя.

Abstract. Efficient mixing of liquids is one of the stages of many technologies. Static mixers for mixing liquids have no moving parts, are compact and have high reliability. In this regard, static mixers are widely used in various processes of oil refining and petrochemistry, to obtain homogeneous solutions with different concentrations of components. For the development of mixer designs, a method of their calculation and modeling is required. The paper presents a diffusion model of mixing liquids in static nozzle type mixers.

When mixing in the static mixer nozzle blocks, the particles of the components make a multidirectional movement like Brownian, both in the horizontal direction and along the axis of the static mixer.

In this paper, the cross mixing of components in the static mixer nozzle blocks was studied for the case of the location of the feed points of one of the components in the cross section of the static mixer on the square and triangular grids.

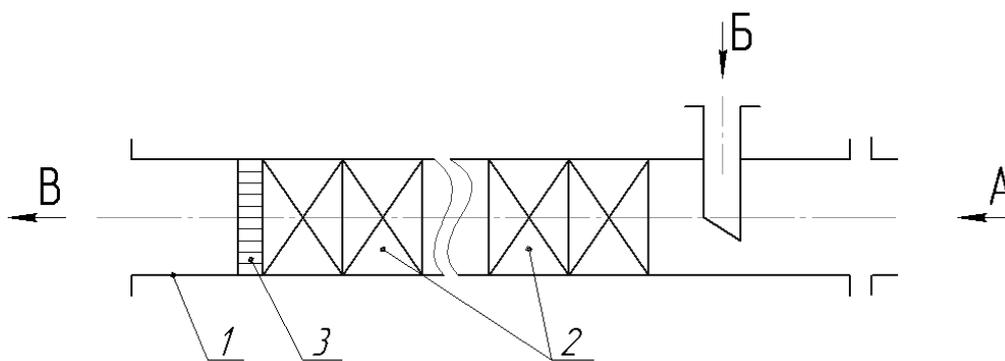
To find the concentration of the component at an arbitrary point with the coordinates x, y , an analytical solution was obtained for the isotropic diffusion model of turbulent diffusion of the liquid at a single point and multipoint component supply and unlimited diffusion of the liquid from each point of irrigation. Determination of the turbulent diffusion coefficient in a static mixer was carried out when the mixed component (indicator) was fed along the mixer axis. It is found that the uniformity of mixing of components in a static mixer increases with the multipoint supply of one of the components over the cross section of the static mixer. The optimal location of irrigation points along the cross section of a static mixer with an isotropic nozzle is found. The research method of the turbulent diffusion coefficient of the mixed medium in the static mixer nozzles is developed.

Ключевые слова: статический смеситель, диффузия, концентрация, перемешивание, насадка.

Key words: static mixer, diffusion, concentration, mixing, nozzle.

В настоящее время статические смесители широко используются в различных процессах нефтепереработки и нефтехимии для смешения ингибиторов в нефти, промывочной воды с нефтью на установках электрообессоливания, в процессах компаудирования компонентов бензина, дизельного топлива с присадками, для смешения реакционной массы с катализатором в химических реакциях и т.д. [1-5].

Статический смеситель состоит из цилиндрического корпуса с расположенными в нем смесительными блоками (рисунок 1).



- 1 – корпус статического смесителя;
- 2 – смесительные блоки;
- 3 – опорная решетка

Рисунок 1. Схема статического смесителя

Работа статического смесителя оценивается качеством перемешивания и затратами энергии на перемешивание [6]. Причем качество перемешивания оценивается равномерностью концентраций перемешиваемых веществ по сечению потока за статическим смесителем [7].

Статический смеситель работает следующим образом. Перемешиваемая среда, например первый компонент, поступает в штуцер А, а второй компонент – через штуцер Б (рисунок 1). Попадая в блоки смесительной насадки, «частицы» компонентов совершают движение подобно броуновскому, перемещаясь в горизонтальном направлении [8].

Смешиваясь, компоненты создают концентрацию в точке с координатами x , y , для которой справедливо соотношение [9, 10], используемое для определения концентрации частиц при броуновском движении:

$$C_N = \frac{1}{4\pi N(I^2)_{cp}} \exp\left[-\frac{(y^2 + x^2)}{4N(I^2)_{cp}}\right], \quad (1)$$

где C_N – плотность вероятности обнаружения концентрации реагента в точке с координатами x , y ;

x, y – горизонтальное расстояние от места ввода «частицы» в насадку до рассматриваемой точки, м;

$$(l^2)_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i^2 - \text{средний квадрат горизонтального расстояния, на которое}$$

переместится «частица» жидкости при огибании смесительных элементов, m^2 ;

N – число огибаний смесительных элементов «частицы» жидкости (число перемещений);

l_i^2 – квадрат горизонтального расстояния, на которое переместится «частица» жидкости при i -том перемещении, m^2 .

Если $(l^2)_{cp}$ не зависит от количества жидкости, текущей в смесительных элементах, и N прямо пропорционально длине смесительных элементов z , пройденной жидкостью, то из уравнения (1) следует:

$$C_z = \frac{q}{4\pi Dz} \exp\left[-(x^2 + y^2) / 4Dz\right], \quad (2)$$

где $D = 0,5N(l^2)_{cp} / z$ – коэффициент турбулентной диффузии, м;

q – расход жидкости из источника Б (рисунок 1), поступающего на смешение, m^3/c .

Уравнение (2) является частным решением уравнения для случая $D = const$, то есть рассмотренный механизм перемешивания при сделанных допущениях удовлетворяет диффузионной модели:

$$\frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right), \quad (3)$$

где C – концентрация перемешиваемого компонента Б в потоке, m^3/m^3 .

В радиальных координатах это уравнение примет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial z} = D \left[\left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 C}{\partial \varphi^2} \right) \right], \quad (4)$$

где r – радиальная координата, м;

φ – угловая координата.

Частное решение уравнения (4) при одноточечной подаче компонента в начало координат имеет вид

$$C_z = \frac{q}{4\pi Dz} \exp(-r^2 / 4Dz), \quad (5)$$

На стенке корпуса смесителя должно выполняться условие

$$\frac{\partial C}{\partial r} = 0. \quad (6)$$

Преобразуем уравнение (3), вводя безразмерную концентрацию жидкости u и безразмерные координаты \bar{x} и \bar{y} :

$$\frac{\partial u}{\partial \bar{z}} = \frac{\partial^2 u}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \bar{y}^2}, \quad (7)$$

$$\text{где } \bar{z} = zDn; \bar{x} = x\sqrt{n}; \bar{y} = y\sqrt{n}; u = C_z / C_{cp}; \quad (8)$$

n – число точек подачи компонента Б на смешение на единицу сечения статического смесителя;

C_{cp} – средняя концентрация компонента Б в жидкости в потоке, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

При подаче компонента Б на насадку в виде отдельных струй начальные условия можно задать в следующем виде:

$$u_0(\bar{x}_i, \bar{y}_i) = \bar{Q}_i \delta(\bar{x}_i, \bar{y}_i), \quad (9)$$

где $\bar{Q}_i = Q_i n \sqrt{D_x / D_y} / w_{cp}$ – безразмерный расход жидкости в i -той точке орошения с координатами x_i, y_i ;

Q_i – расход жидкости в i -той точке орошения, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\delta(\bar{x}_i, \bar{y}_i)$ – дельта функция Дирака.

Для решения уравнения (7) с начальными условиями (9) воспользуемся решением Пуассона задачи о диффузии, имеющим следующий вид:

$$u(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = -\int_v G(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{x}_i, \bar{y}_i, 0) u_0(\bar{x}_i, \bar{y}_i) dv(\bar{x}_i, \bar{y}_i), \quad (10)$$

где $G(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{x}_i, \bar{y}_i, 0)$ – функция Грина;

v – рассматриваемая область.

Если v совпадает со всем пространством [9],

$$G(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{x}_i, \bar{y}_i, 0) = -\frac{1}{4\pi\bar{z}} \exp\left[-\frac{(\bar{x} - \bar{x}_i)^2 + (\bar{y} - \bar{y}_i)^2}{4\bar{z}}\right]. \quad (11)$$

Для начальных условий (8) интегрирование по области v можно заменить суммированием, тогда получим:

$$u(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = \sum_{i=1}^k \frac{Q_i \cdot n}{4\pi \bar{z} w_{-p}} \exp\left[-\frac{(\bar{x} - \bar{x}_i)^2 + (\bar{y} - \bar{y}_i)^2}{4\bar{z}}\right], \quad (12)$$

где k – число точек орошения.

Уравнение (12) является уравнением аддитивности расхода компонента Б от соседних точек его подачи на смесительные блоки.

Для выполнения условия (7) в бесконечном пространстве за стенками корпуса статического смесителя число точек подачи компонента Б на смешение на единицу площади пространства должно быть таким же, как и внутри статического смесителя, т.е. должно оставаться постоянным.

Как показали расчеты, минимальная концентрация компонента Б в смеси наблюдается в точке насадочных блоков равноудаленной от ближайших точек подачи компонента Б, а максимальная концентрация компонента Б – под точкой подачи компонента.

При расположении точек орошения по равномерной квадратной или треугольной сетке (рисунок 2) и z , при котором $u_{\min} / u_{\max} = 0,9$ достаточно суммировать двадцать членов уравнения (12), чтобы вычислить u с точностью до 10^{-4} от абсолютной величины.

Из уравнения (12) следует, что влияние точек подачи компонента по мере удлинения зоны смешения в направлении координаты z быстро ослабевает. При расположении точек подачи компонента Б по равномерной квадратной или треугольной сетке (рисунок 2) и отсутствии пристеночного эффекта результаты вычислений по уравнению (12) в виде зависимости \bar{z} при отношении минимальной и максимальной безразмерной концентрации реагента u_{\min} / u_{\max} в смесительном блоке представлены на рисунке 3.

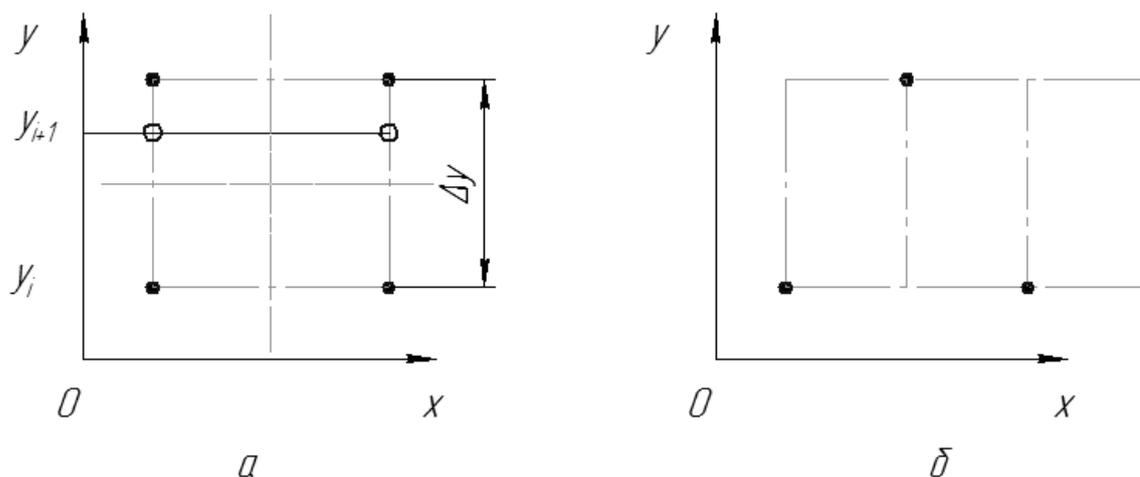
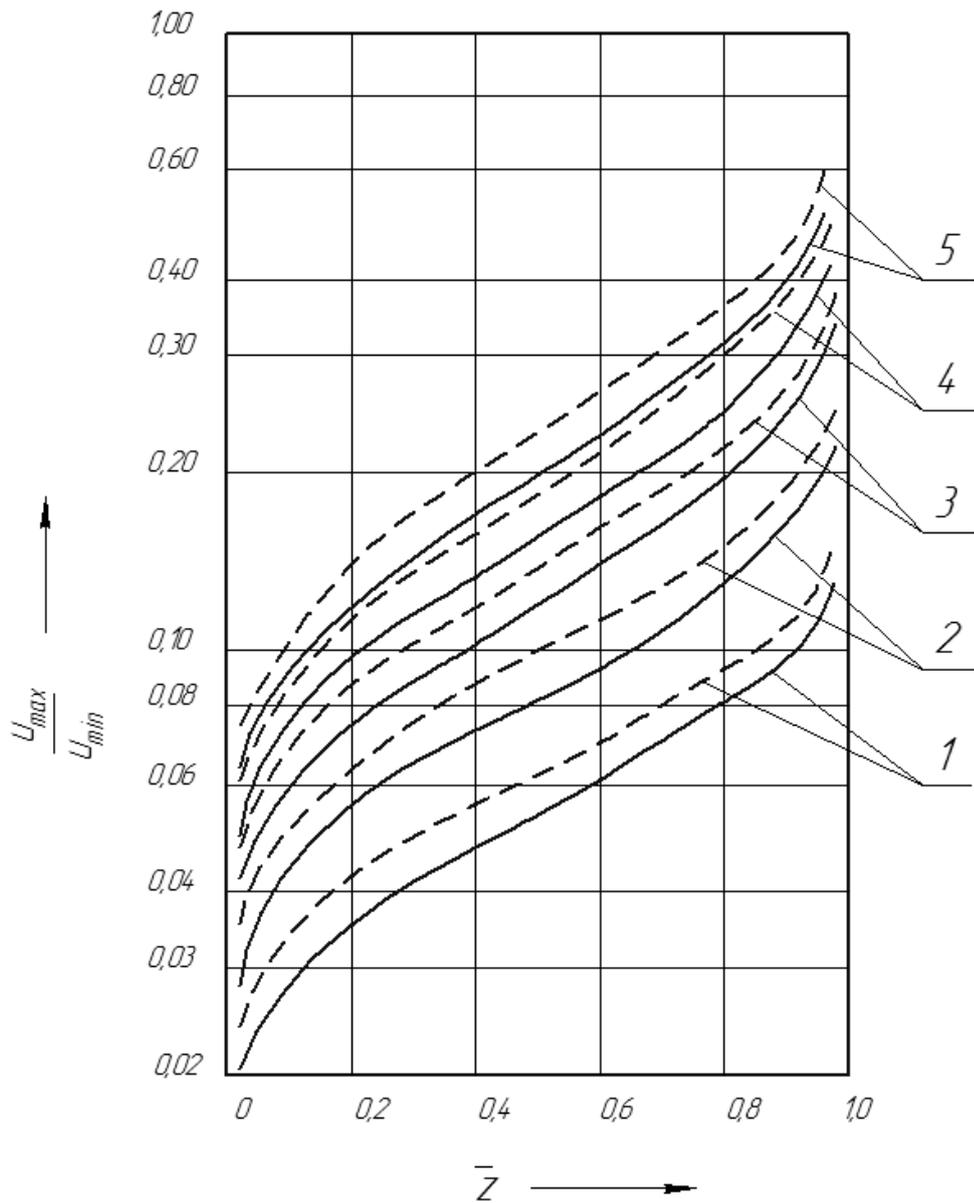


Рисунок 2. Расположение точек подачи компонента Б в поперечном сечении статического смесителя по квадратной (а) и по треугольной (б) сеткам

Из уравнений (2)-(4) следует, что для достижения более равномерной концентрации компонента Б в потоке при прочих равных условиях требуется меньший диаметр статического смесителя или подача компонента Б в нескольких точках поперечного сечения статического смесителя. Снижение диаметра при прочих равных условиях увеличивает гидравлическое сопротивление статического смесителя и затраты энергии на перемешивание. Увеличение числа точек подачи компонента Б в сечении статического смесителя незначительно усложняет его конструкцию и мало влияет на увеличение гидравлического сопротивления.

При расположении точек подачи компонента Б внутри статического смесителя по квадратной или треугольной сетке наблюдается некоторое различие в перемешивании, что представлено на рисунке 3. Если расположение точек подачи компонента Б осуществляется по вершинам прямоугольников или неравносторонних треугольников, то необходимо учитывать отклонение расположения точек коэффициентом К, который показывает, насколько расстояние между точками подачи компонента Б в направлении координаты у больше, чем в направлении координаты х. Как следует из рисунка 3, предпочтительнее расположение точек подачи компонента Б по вершинам равносторонних треугольников.



- 1 – $K_y=1$;
- 2 – $K_y=2$;
- 3 – $K_y=3$;
- 4 – $K_y=4$;
- 5 – $K_y=5$;

сплошные линии соответствуют расположению точек орошения по треугольной сетке;
 пунктирные линии соответствуют расположению точек орошения по треугольной сетке

Рисунок 3. Зависимость безразмерной длины насадочных блоков статического смесителя \bar{z} от отношения u_{min}/u_{max} , которое достигается на этой длине

Очевидно, что при конструировании смесительных насадок необходимо не только увеличить коэффициент D , но и достичь более однородной концентрации в любом микрообъеме среды.

В ряде конструкций смесительные элементы состоят из гофрированных пластин [11]. Например, статический смеситель [12] содержит трубу 1, теплообменную рубашку 2, пакеты гофрированных полос 3 с треугольными 4 и трапецидальными гофрами 5 (рисунок 4). В трапецидальной части гофр выполнены вырезы 6. Между пакетом гофрированных полос 3 и стенкой трубы 1 расположены кольцевые или спиральные элементы 7. Между крайней гофрированной полосой пакета и стенкой расположены сегментные накладки 8, на внешней стороне которых расположены пазы 9 для кольцевых или спиральных элементов 7, а с внутренней стороны выполнены наклонные пазы 10.

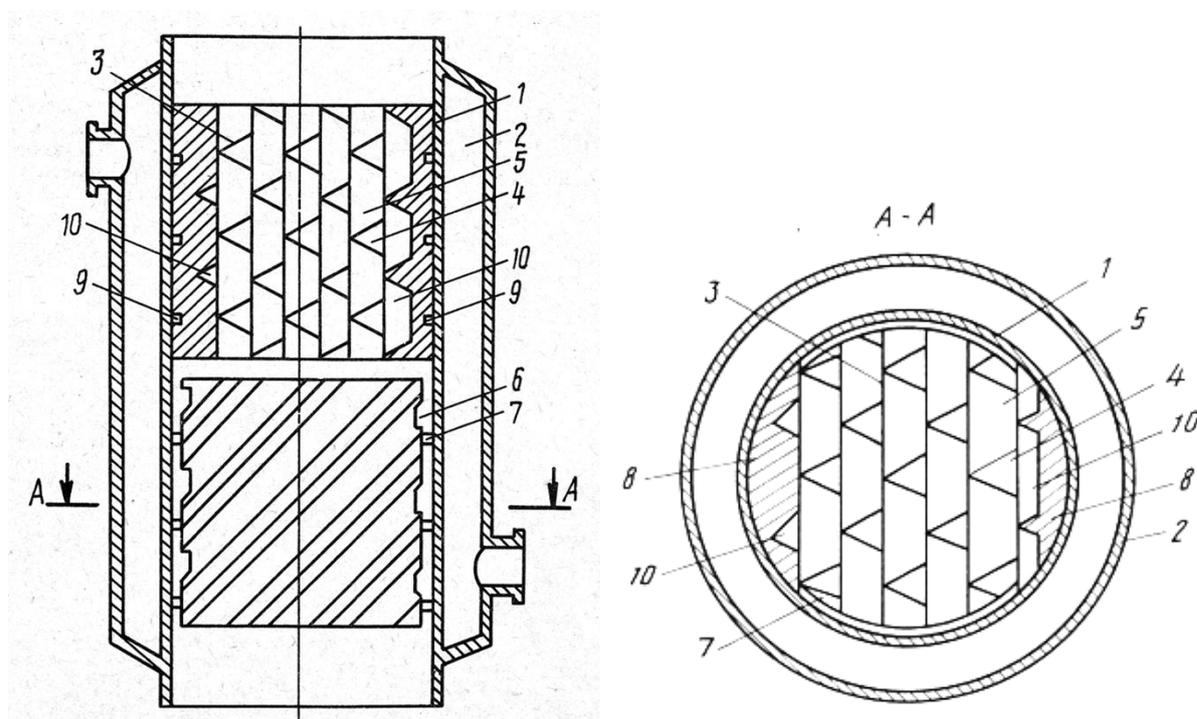


Рисунок 4. Статический смеситель

Статический смеситель работает следующим образом.

В теплообменную рубашку подается теплоноситель. Смешиваемые жидкости подаются в трубу 1 и попадают в пространство между

гофрированными полосами 3, причем основная часть жидкости движется по трапецеидальным гофрам 5 и достигает стенки трубы 1. Затем она через вырезы 6, выполненные в трапецеидальной части гофр, и канал, образуемый кольцевыми или спиральными элементами 7, перетекает в пространство между соседними гофрированными полосами. На соседних полосах гофры имеют противоположный наклон, поэтому основной поток жидкости движется после контакта со стенкой трубы 1 к центру смесителя, что улучшает теплообмен. Застойные зоны вблизи стенки не образуются. Продольные каналы вдоль стенки при таком устройстве смесительных элементов могут образовываться, но при перетекании через вырезы 6 и каналы, образуемые кольцевыми элементами 7, жидкость движется в поперечном направлении и увлекает жидкость, движущуюся вдоль стенки. Между крайними гофрированными полосами пакета и стенкой трубы 1 размещены сегментные накладки 8. Так как на внешней стороне накладок сделаны пазы 9 для кольцевых или спиральных элементов 7, то накладки 8 вплотную прижаты к стенке трубы 1, т.е. в этом месте жидкость не контактирует непосредственно со стенкой, что исключает ее перегрев. На внутренней стороне прокладок выполнены наклонные пазы 10, по форме соответствующие гофрам. Это позволяет сохранить существующую в смесителе структуру потоков, обеспечивающую хорошее перемешивание и теплообмен со стенкой трубы 1.

Определение коэффициента турбулентной диффузии в рассмотренном выше статическом смесителе осуществлялось при подаче перемешиваемого компонента (индикатора) по оси смесителя. В качестве индикатора использовали однонормальный раствор NaOH. Диаметр смесителя 151 мм, число насадочных блоков 4, общая длина 200 мм. Пробы отбирали через каждые 20 мм по радиусу статического смесителя в четырех взаимно перпендикулярных направлениях. Концентрацию

индикатора определяли методом титрования 0,1 нормальным раствором HCl , в качестве индикатора использовали раствор фенолфталеина.

Обработку результатов эксперимента проводили с использованием уравнения (5). В логарифмических координатах уравнение (5) является уравнением прямой линии. Коэффициент турбулентной диффузии D находят по углу наклона этой линии к оси абсцисс и по величине ординаты прямой при $r=0$.

Скорость основного потока (воды) в процессе эксперимента изменялась от 0,3 до 5,0 м/с в пересчете на полное сечение смесителя. В этих условиях коэффициент турбулентной диффузии возрастает от $0,9 \cdot 10^{-2}$ м²/с до $1,4 \cdot 10^{-2}$ м²/с со средней погрешностью $\pm 7\%$.

Выводы

1. Получено аналитическое решение изотропной диффузионной модели турбулентной диффузии жидкости при одноточечной и многоточечной подаче компонента Б и неограниченном растекании жидкости из каждой точки орошения.

2. Равномерность перемешивания компонентов в статическом смесителе возрастает при многоточечной подаче одного из компонентов по сечению статического смесителя.

3. Найдено оптимальное расположение точек орошения по сечению статического смесителя с изотропной насадкой, которым является равномерное расположение точек орошения в безразмерных координатах.

4. Проведено исследование статического смесителя с целью определения коэффициента турбулентной диффузии перемешиваемой среды.

5. Разработана методика исследования коэффициента турбулентной диффузии перемешиваемой среды в насадках статического смесителя.

Список используемых источников

1. Ghanem A., Lemenand T., Della Valle D., Peerhossaini H. Static Mixers: Mechanisms, Applications, and Characterization Methods – A Review // Chemical Engineering Research and Design. 2014. Vol. 92. No. 2. P. 205-228.
2. Häfeli R., Rüegg O., Altheimer M., Rudolf von Rohr P. Investigation of Emulsification in Static Mixers by Optical Measurement Techniques Using Refractive Index Matching // Chemical Engineering Science. 2016. Vol. 143. P. 86-98.
3. Khac Tien N., Streiff F., Flaschel E., Renken A. Motionless Mixers for the Design of Multitubular Polymerization Reactors // Chem. Eng. Technol. 1990. Vol. 13. P. 214-220.
4. Николаев Е.А. Статические и динамические смесители для компаундирования нефтепродуктов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2011. № 3. С. 29-34. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_16399213_78723275.pdf (дата обращения: 04.06.2018).
5. Thakur R.K., Vial C.H., Djelveh G., Nigam K.D.P., Nauman E.B. Static Mixers in the Process Industries – a Review // Chemical Engineering Research and Design. 2003. Vol. 81. No. 7. P. 787-826.
6. Барабаш В.М., Бегичев В.И., Белевицкая М.А., Смирнов Н.Н. Проблемы и тенденции развития теории и практики перемешивания жидких сред // Теоретические основы химической технологии. 2007. Т. 41. № 2. С.140-147.
7. Клыков М.В., Свинухов А.Г. Растекание жидкости в слое сетчатой насадки // Химия и технология топлив и масел. 1978. № 7. С. 40-42.
8. Клыков М.В., Алушкина Т.В., Кулушев И.З. Орошение аппаратов с насыпными насадками // Нефтегазопереработка – 2015: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: ГУП «Институт нефтехимпереработки РБ», 2015. С. 167-169.

9. Tausher W., Mathys P. Paper presented at the first European Conference of Mixing and Centrifugal Separation, Cambridge, England, September 9-11, 1974.

10. А.с. 1542597 СССР, МПК В 01 F 5/06. Статический смеситель / М.В. Клыков, Р.И. Насибуллин, В.И. Борзенко (СССР). 4428243/31-26, Заявлено 18.05.1988; Оpubл. 15.10.1989, Бюл. 6.

11. Лаптев А.Г., Фарахов Т.М., Дударовская О.Г. Сравнительная оценка энергоэффективности статических насадочных проточных смесителей // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 1. С. 68-83. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_26082834_85952279.pdf (дата обращения: 05.06.2018).

12. Чаусов Ф.Ф. Отечественные статические смесители для непрерывного перемешивания жидкостей // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 3. С. 11-14.

References

1. Ghanem A., Lemenand T., Della Valle D., Peerhossaini H. Static Mixers: Mechanisms, Applications, and Characterization Methods – A Review. Chemical Engineering Research and Design, 2014, Vol. 92, No. 2, pp. 205-228.

2. Häfeli R., Rüegg O., Althemer M., Rudolf von Rohr P. Investigation of Emulsification in Static Mixers by Optical Measurement Techniques Using Refractive Index Matching. Chemical Engineering Science, 2016, Vol. 143, pp. 86-98.

3. Khac Tien N., Streiff F., Flaschel E., Renken A. Motionless Mixers for the Design of Multitubular Polymerization Reactors. Chem. End. Technol., 1990, Vol. 13, pp. 214-220.

4. Nikolaev E.A. Sticheskie i dinamicheskie smesiteli dlja kompaundirovanija nefteproduktov [Static and Dynamic Mixers for Compounding Petroleum Products]. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa – Equipment and Technologies for Oil and Gas Industry, 2011, Vol. 3, pp. 29-34. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_16399213_78723275.pdf [in Russian].

5. Thakur R.K., Vial C.H., Djelveh G., Nigam K.D.P., Nauman E.B. Static Mixers in the Process Industries – a Review. Chemical Engineering Research and Design, 2003, Vol. 81, No. 7, pp. 787-826.

6. Barabash V.M., Begichev V.I., Belevickaja M.A., Smirnov N.N. Problemy i tendencii razvitija teorii i praktiki peremeshivaniya zhidkih sred [Problems and Trends in the theory and Practice of Mixing of Liquids]. Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii – Theoretical Basis of Chemical Technology, 2007, Vol.41, No. 2, pp.140-147. [in Russian].

7. Klykov M.V., Svinuhov A.G. Rastekanie zhidkosti v sloe setchatoj nasadki [Spreading of Liquid in the Layer of Mesh Nozzle]. Khimiya i tekhnologiya topliv i masel – Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 1978, No. 7, pp. 40-42. [in Russian].

8. Klykov M.V., Alushkina T.V., Kulushev I.Z. Oroshenie apparatov s nasypnymi nasadkami [Irrigation of Devices with Bulk Nozzles]. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Neftegazopererabotka – 2015». [Materials of the International Scientific and Practical Conference «Oil and Gas Processing – 2015»]. Ufa, GUP «Institut neftehimpererabotki RB» Publ., 2015, pp. 167-169 [in Russian].

9. Tausher W., Mathys P. Paper Presented at the First European Conference of Mixing and Centrifugal Separation, Cambridge, England, September 9-11, 1974.

10. Klykov M.V., Nasibullin R.I., Borzenko V.I. Sticheskiy smesitel' [Static Mixer]. Certificate of Authorship of USSR, No. 1542597, 1989. [in Russian].

11. Laptev A.G., Farahov T.M., Dudarovskaja O.G. Sravnitel'naja ocenka jenergojeffektivnosti staticheskikh nasadochnyh protochnyh smesitelej [Comparative Assessment of Energy Efficiency of Static Packing Flow Mixers]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta – Bulletin of Kazan State Energy University, 2016, Vol. 1, pp. 68-83. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_26082834_85952279.pdf. [in Russian].

12. Chausov F.F. Otechestvennyye staticheskie smesiteli dlja nepreryvnogo peremeshivaniya zhidkostej [Domestic Static Mixers for Continuous Mixing of Liquids]. Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie – Chemical and Oil and Gas Engineering, 2009, No. 3, pp.11-14. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Алушкина Т.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», ФГБОУ ВО «УГНТУ», филиал, г. Салават, Российская Федерация

T.V. Alushkina, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Equipment of Petrochemical And Oil Refining Enterprises Department, FSBEI HE «USPTU», Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: alu1@yandex.ru

Клыков М.В., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», ФГБОУ ВО «УГНТУ», филиал, г. Салават, Российская Федерация

M.V. Klykov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Equipment of Petrochemical And Oil Refining Enterprises Department, FSBEI HE «USPTU», Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: klykovm@mail.ru