

УДК 66.021.3

DOI 10.52928/2070-1616-2025-51-1-97-106

**ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ  
ЭЛЕМЕНТА РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРИРОВАННОЙ НАСАДКИ**

*канд. техн. наук Д.Ю. МЫТЬКО, Я. ЯН, Х. ЧЖАО, ЧЖ. СУНЬ  
(Белорусский государственный технологический университет, Минск)*

*Исследовалось смачивание поверхности элементов регулярной структурированной насадки, применяемой в процессах разделения фаз в химической промышленности. В ходе экспериментов оценивалось влияние геометрических характеристик гофрированных листов, таких как длина образующей и наличие перфорации, на эффективность смачивания и гидродинамические параметры. Результаты показали, что перфорация гофрированных элементов значительно улучшает смачивание, способствуя равномерному распределению жидкости по поверхности и повышая интенсивность взаимодействия фаз. На основе полученных данных был определен оптимальный размер образующей гофры. В частности, размер образующей 8 мм был признан наиболее эффективным и использован для проектирования двух типов насадок с удельной поверхностью 250 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> и 400 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Полученные результаты имеют значительное практическое значение и могут использоваться для разработки более эффективных аппаратов в химической промышленности, что в свою очередь будет способствовать улучшению производительности и снижению затрат.*

**Ключевые слова:** смачивание, гофрированные листы, перфорация, регулярная структурированная насадка, гидродинамика, гидравлическое сопротивление, проектирование насадок, химическая промышленность.

**Введение.** Регулярная структурированная насадка широко используется в процессах разделения фаз в химической промышленности благодаря своей высокой пропускной способности и эффективности массопередачи, а также низкой вероятности затопления насадки при малых расходах газа. Эти характеристики делают ее незаменимой в различных технологических процессах, таких как абсорбция, дистилляция и ректификация. Наиболее известной компанией, занимающейся разработкой и исследованием подобных конструкций, является Sulzer Chemtech. Их продукция в виде насадок Montzpak, Rombopak и Raschig-Superpak часто встречается в колонных аппаратах на предприятиях по всему миру [1–4].

Экспериментальная работа является традиционной частью исследования, демонстрирующей как преимущества, так и недостатки изучаемых конструкций [5–12]. Ранее нами был выполнен ряд экспериментов по изучению гидродинамики и эффективности массопередачи регулярных структурированных насадок, изготовленных из гофрированных листов. Эти работы дали возможность оценить влияние геометрии насадок и технологических режимов на их производительность. Были проанализированы методы изменения конфигурации элементов конструкции, способствующие увеличению интенсивности взаимодействия фаз и снижению гидравлического сопротивления. Одним из таких методов является перфорация, которая позволяет оптимизировать распределение жидкости и улучшить смачивание поверхности [13–16].

Целью данной работы являются экспериментальное исследование смачивания поверхности гофрированного элемента и проектирование насадки. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: изготовление исследуемых образцов, сборка экспериментального стенда, фотосъемка течения жидкости, получение результатов и расчет удельной величины смачивания поверхности.

**Основная часть.** Нами были подготовлены образцы гофрированных листов с длиной ребра образующей гофры 5, 8, 11 мм. Угол гофрирования составил 90°. Высота и ширина гофры – 100 мм. Материал, из которого изготавливалась гофра, – алюминий. Для сопоставления деталей было принято решение дополнительно изготовить три аналогичных листа, основным отличием которых стало наличие перфорации. Она выполнялась на каждой второй ступени гофры сверху (в ряд), кроме первой, которая являлась распределяющей поверхностью для жидкости. Диаметр отверстий – 3 мм. На рисунке 1 представлена модель одного из образцов гофрированного листа с перфорацией.

Экспериментальная установка состояла из резервуара с водой 1, к которому подключался центробежный насос 2, вентилей 3, ротаметра 4, трубопроводной системы 5, гофрированного листа 6, штатива 7 и камеры 8.

Принцип работы установки следующий. Вода из резервуара 1 подавалась с помощью центробежного насоса 2 по трубопроводной системе 5 через вентиль 3, который позволял регулировать расход жидкости. Вода проходила через ротаметр 4 и далее направлялась по трубе через сопло на поверхность гофрированного листа 6. Когда устанавливался режим пленочного/струйного течения жидкости, включалась камера 8, закрепленная на штативе 7.

На рисунке 2 представлена схема экспериментальной установки для исследования пленочного течения на поверхности гофрированного листа.

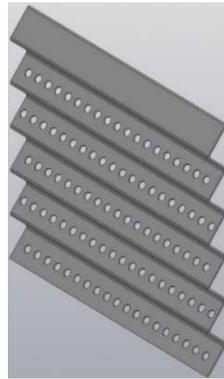
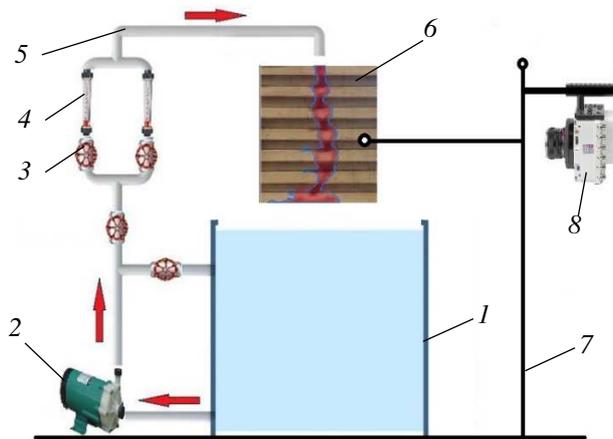


Рисунок 1. – Модель образца гофрированного листа с перфорацией



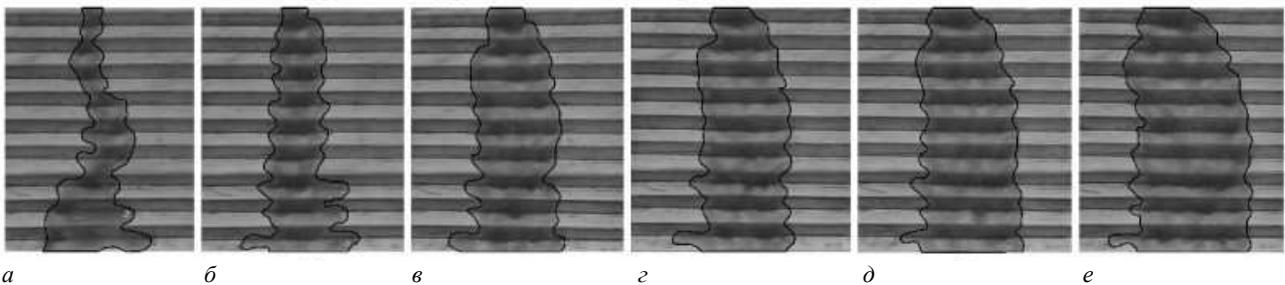
1 – резервуар; 2 – центробежный насос; 3 – вентиль; 4 – ротаметр;  
5 – трубопроводная система; 6 – гофрированный лист; 7 – штатив; 8 – камера

Рисунок 2. – Схема экспериментальной установки

Экспериментальное исследование пленочного течения проводилось для диапазона расходов жидкости  $Q = 0,01-0,054 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В ходе экспериментальных исследований были получены фотографии установившегося пленочного/струйного течения для шести образцов с перфорацией и без нее, которые представлены на рисунках 3–10.

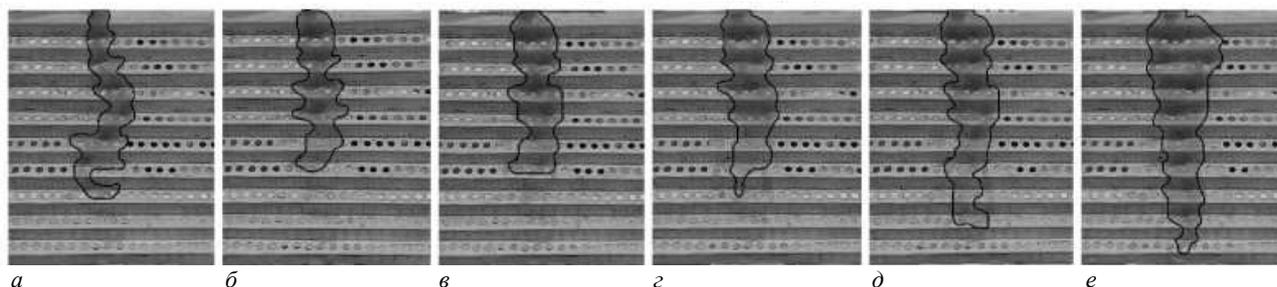
Из рисунка 3 видно, что ширина ручейка увеличивается с повышением расхода воды. При меньших расходах (рисунок 3, *a, б*) это явление наблюдается преимущественно в нижней части гофрированного листа. Также можно заметить, что ручеек имеет изогнутую траекторию движения по высоте листа (рисунок 3, *a*).



*a* –  $0,01 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; *б* –  $0,024 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; *в* –  $0,026 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; *г* –  $0,0324 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; *д* –  $0,047 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; *е* –  $0,054 \text{ м}^3/\text{ч}$

Рисунок 3. – Пленочное течение на гофрированном листе без перфорации и длиной образующей 5 мм

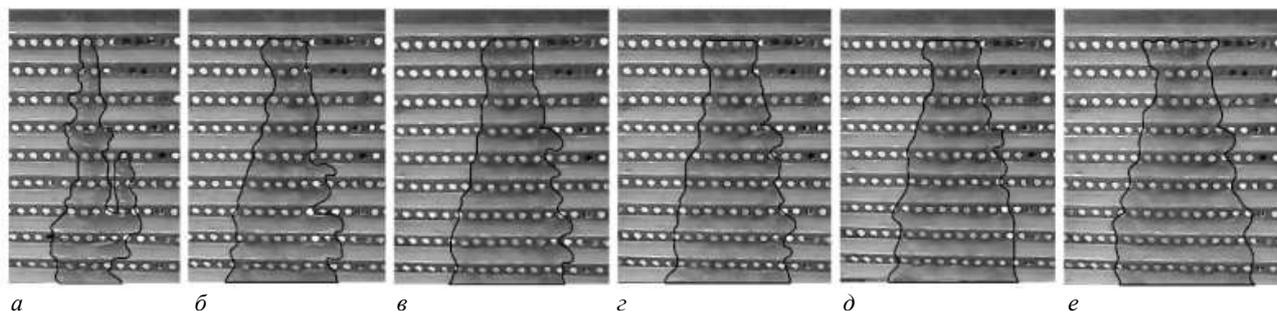
Согласно рисунку 4, ручеек не достигает края листа, что свидетельствует о его перетекании на обратную сторону. Это явление наблюдается при относительно низких расходах воды. Однако при увеличении расхода (рисунок 4, *e*) вода проходит весь путь, что указывает на более эффективное распределение жидкости по поверхности.



*a* – 0,01 м<sup>3</sup>/ч; *б* – 0,024 м<sup>3</sup>/ч; *в* – 0,026 м<sup>3</sup>/ч; *г* – 0,0324 м<sup>3</sup>/ч; *д* – 0,047 м<sup>3</sup>/ч; *e* – 0,054 м<sup>3</sup>/ч

**Рисунок 4. – Пленочное течение на гофрированном листе с перфорацией (лицевая сторона) и длиной образующей 5 мм**

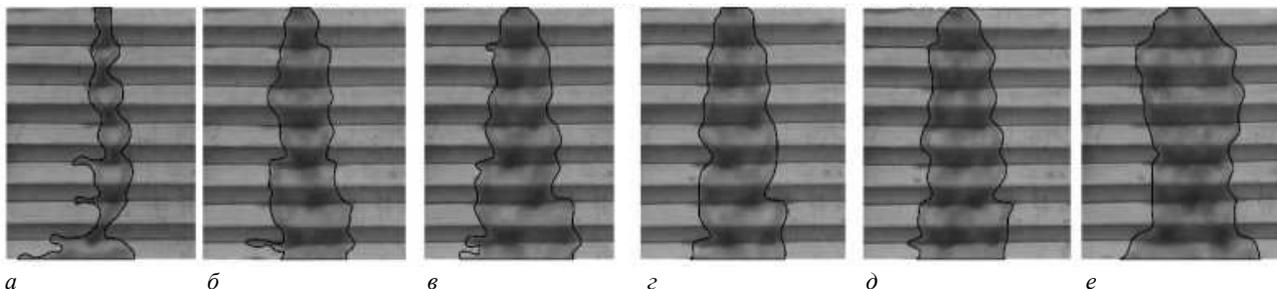
На оборотной стороне (рисунок 5) наблюдается более равномерное распределение жидкости по сравнению с лицевой. Преимущественно в нижней части листа ширина ручейка увеличивается с повышением расхода воды. Можно предположить, что из-за увеличенного перетекания воды на обратную сторону происходит стягивание части жидкости с лицевой стороны, что приводит к исчезновению течения ручейка на лицевой поверхности.



*a* – 0,01 м<sup>3</sup>/ч; *б* – 0,024 м<sup>3</sup>/ч; *в* – 0,026 м<sup>3</sup>/ч; *г* – 0,0324 м<sup>3</sup>/ч; *д* – 0,047 м<sup>3</sup>/ч; *e* – 0,054 м<sup>3</sup>/ч

**Рисунок 5. – Пленочное течение на гофрированном листе с перфорацией (оборотная сторона) и длиной образующей 5 мм**

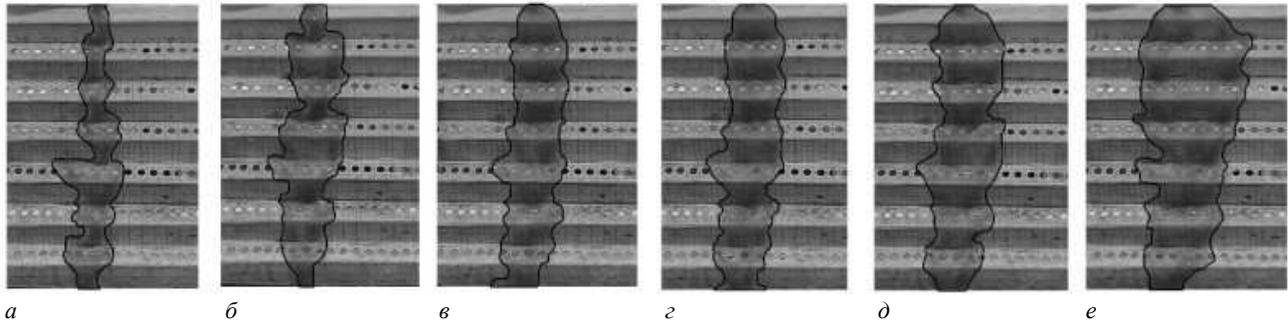
На рисунке 6 ручек ведет себя, как и на поверхности гофрированного листа с длиной образующей 5 мм. Однако следует отметить, что увеличение длины образующей уменьшает количество ступеней гофры, что ухудшает ее смачивание.



*a* – 0,01 м<sup>3</sup>/ч; *б* – 0,024 м<sup>3</sup>/ч; *в* – 0,026 м<sup>3</sup>/ч; *г* – 0,0324 м<sup>3</sup>/ч; *д* – 0,047 м<sup>3</sup>/ч; *e* – 0,054 м<sup>3</sup>/ч

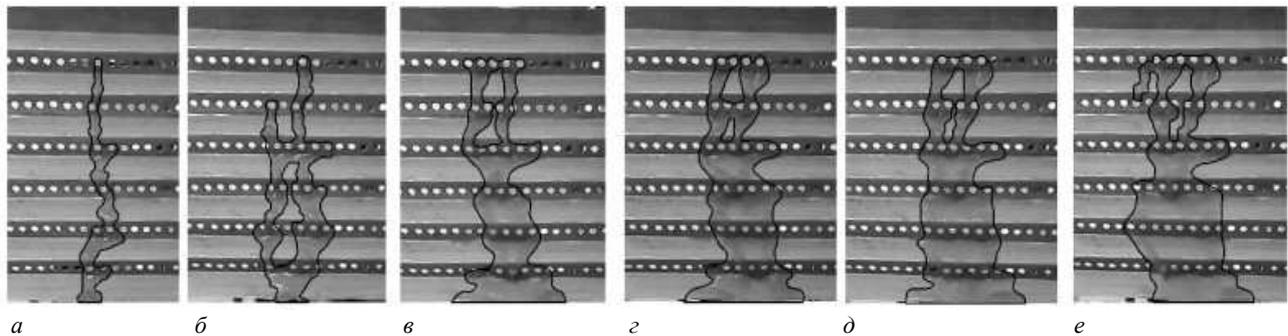
**Рисунок 6. – Пленочное течение на гофрированном листе без перфорации и длиной образующей 8 мм**

Из рисунков 7 и 8 видно, что распределение ручейка на лицевой стороне гофрированного листа с перфорацией лучше, чем у гофры с длиной образующей 5 мм. Здесь ручеек достигает нижнего края листа. Часть жидкости перетекает на обратную сторону, но в меньшем количестве, чем в случае с длиной образующей 5 мм. Это может быть связано с меньшим количеством ступеней и отверстий по высоте гофры.



$a - 0,01 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $b - 0,024 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $в - 0,026 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $г - 0,0324 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $д - 0,047 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $e - 0,054 \text{ м}^3/\text{ч}$

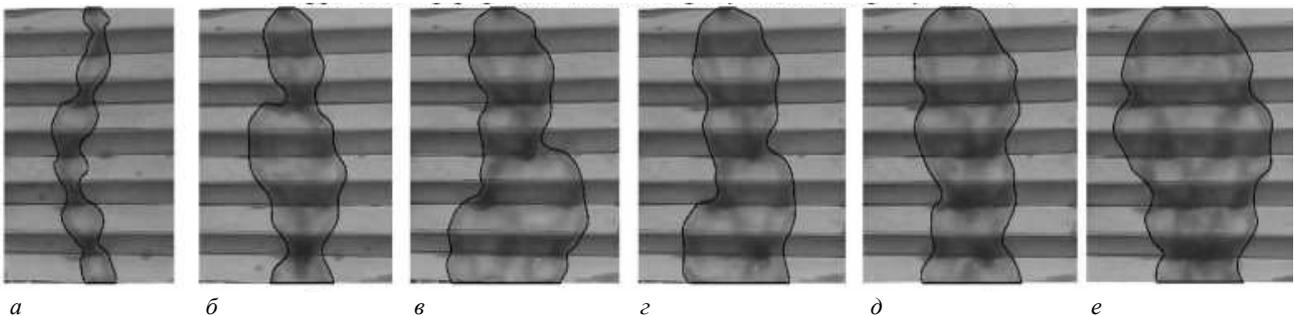
**Рисунок 7. – Пленочное течение на гофрированном листе с перфорацией (лицевая сторона) и длиной образующей 8 мм**



$a - 0,01 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $b - 0,024 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $в - 0,026 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $г - 0,0324 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $д - 0,047 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $e - 0,054 \text{ м}^3/\text{ч}$

**Рисунок 8. – Пленочное течение на гофрированном листе с перфорацией (оборотная сторона) и длиной образующей 8 мм**

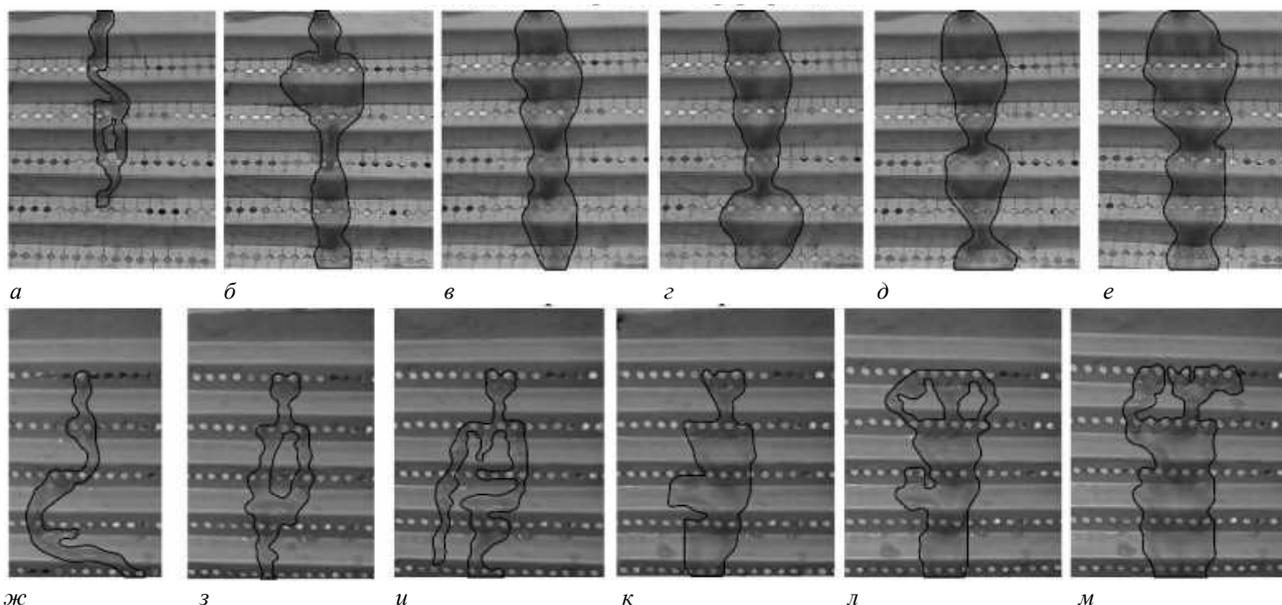
Ручеек ведет себя более нестабильно на поверхности гофрированного листа (рисунок 9) по сравнению с другими образцами. Наблюдается расширение вблизи истечения жидкости из сопла, за которым следует сужение из-за увеличения скорости потока. Это приводит к снижению смачивания поверхности в нижней части листа.



$a - 0,01 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $b - 0,024 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $в - 0,026 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $г - 0,0324 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $д - 0,047 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $e - 0,054 \text{ м}^3/\text{ч}$

**Рисунок 9. – Пленочное течение на гофрированном листе без перфорации и длиной образующей 11 мм**

Согласно рисунку 10, увеличение размера образующей гофры ухудшает смачивание поверхности и ведет к нестабильному течению пленки/струйки с локальными разрывами.



*a, ж* – 0,01 м<sup>3</sup>/ч; *б, з* – 0,024 м<sup>3</sup>/ч; *в, и* – 0,026 м<sup>3</sup>/ч; *г, к* – 0,0324 м<sup>3</sup>/ч;  
*д, л* – 0,047 м<sup>3</sup>/ч; *е, м* – 0,054 м<sup>3</sup>/ч

**Рисунок 10. – Пленочное течение на гофрированном листе с перфорацией и длиной образующей 11 мм**

На основании полученных фотографий были определены границы пленочного и струйного течения. Для смоченной поверхности рассчитывалась удельная величина в процентном соотношении.

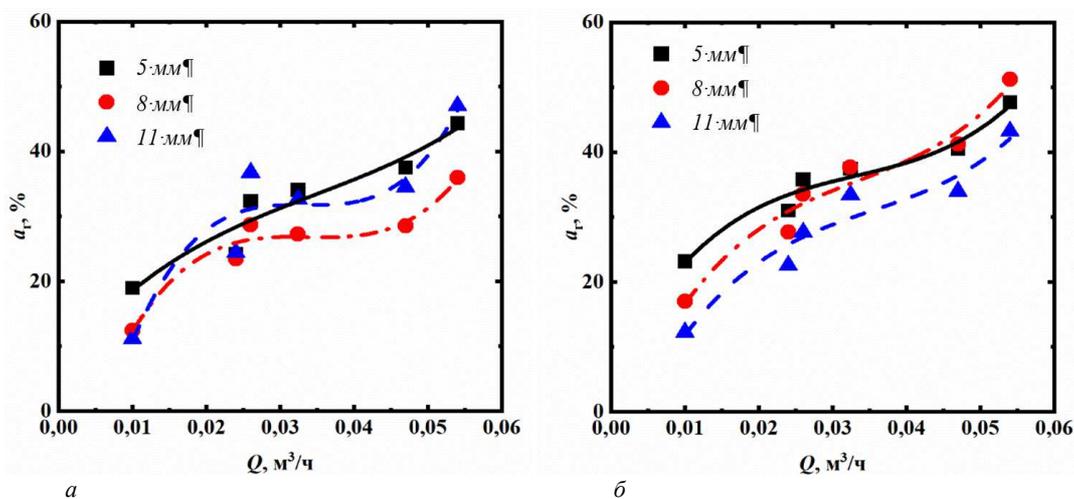
Удельная величина смоченной поверхности гофрированного листа  $a_r$  определялась как

$$a_r = \frac{S_{см}}{S_{сух}} \cdot 100\%, \tag{1}$$

где  $S_{сух}$ ,  $S_{см}$  – площадь сухой и смоченной поверхности одной из стороны гофрированного листа, м<sup>2</sup>, соответственно [9].

На основании (1) были выполнены расчеты и построены графические зависимости изменения удельной величины смоченной поверхности гофрированного листа от расхода жидкости.

На рисунке 11 представлена графическая зависимость изменения удельной величины смоченной поверхности от расхода воды для все образцов.

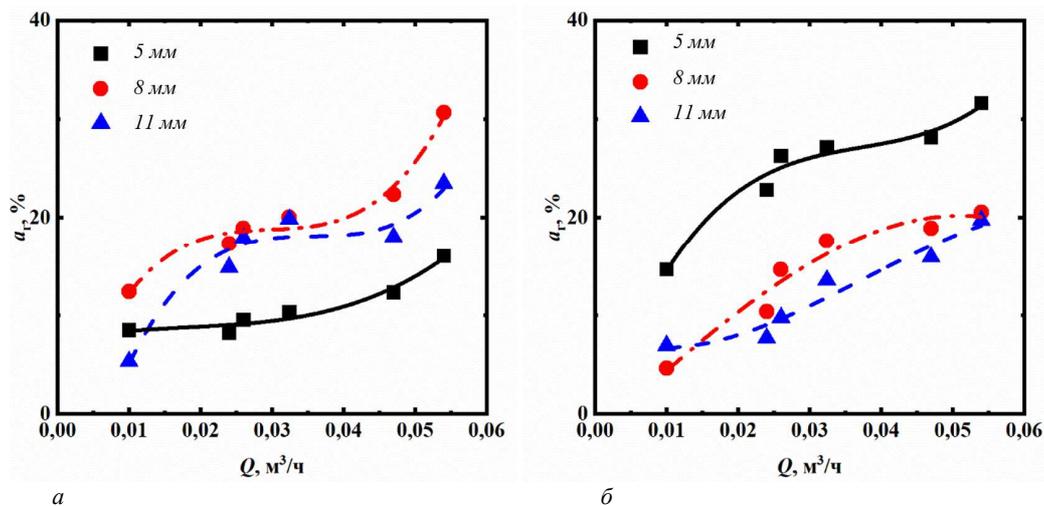


***a* – без перфорации; *б* – с перфорацией**

**Рисунок 11. – Изменение удельной величины смоченной поверхности  $a_r$  от расхода жидкости  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, для гофрированных листов**

На рисунке 11, *a* видно, что смачивание поверхностей с разной длиной образующей различается. Для сторон 8 и 11 мм изменение зависимости схоже, но отличается по величине. Для образующей длиной 5 мм наблюдается линейная зависимость, что обусловлено большим количеством ступеней, формирующих гофру, которые равномерно распределяют поток воды. Исследование листов с перфорацией (см. рисунок 11, *б*) показало, что наибольшим значением обладает гофрированный лист с длиной образующей 5 мм. Зависимости для образующих 5 мм и 8 мм сходятся после значения расхода 0,03 м<sup>3</sup>/ч и далее имеют идентичные показатели на оставшемся промежутке изменения расходов. По сравнению с зависимостями для гофрированных листов без перфорации, которые представлены на рисунке 11, *a*, видно, что перфорация позволяет увеличить удельную величину смачивания преимущественно для размера образующей канала 8 мм. Для двух других образцов зависимости отличаются незначительно.

На рисунке 12 представлены графические зависимости изменения удельной величины смоченной поверхности от расхода воды на лицевой и оборотной сторонах для гофрированных листов с перфорацией.



*a* – лицевая сторона; *б* – оборотная сторона

Рисунок 12. – Изменение удельной величины смоченной поверхности  $a_r$  от расхода жидкости  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, для лицевой и оборотной сторон гофрированных листов с перфорацией

Согласно рисунку 12, *a*, для размера образующей гофру 5 мм смачивание лицевой стороны, как отмечалось выше на фотографиях, хуже. Это связано с большим числом перфорированных отверстий и перетеканием воды на оборотную сторону. Для образцов с длиной образующей 8 и 11 мм зависимости похожи. Однако для размера 8 мм удельная величина смоченной поверхности выше на всем промежутке.

Наилучшее смачивание по оборотной стороне гофрированных листов достигается для размера образующей гофру 5 мм (см. рисунок 12, *б*). Для двух других образцов зависимости пересекаются и не существенно отдаляются друг от друга.

На основании полученных графических зависимостей и проделанного анализа можно подытожить, что наиболее предпочтительным для дальнейшего проектирования насадки является образец с перфорацией гофрированного листа и длиной образующей 8 мм. Здесь стало очевидным, что увеличение отверстий ухудшает смачивание лицевой поверхности.

Для проектирования регулярно-структурированной насадки необходимо задаться необходимыми геометрическими характеристиками. К ним относятся: удельная поверхность насадки  $a_n$ , м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; удельный свободный объем  $\varepsilon$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, занимаемый насадкой; диаметр колонны  $d_k = 0,15$  м.

Известно, что высота, ширина и толщина перфорированного гофрированного листа с длиной образующей 8 мм и оптимальными результатами смачивания поверхности по данным эксперимента 100, 100 и 1 мм, поэтому высоту насадки примем такой же.

Из [13–16] было определено, что удельная поверхность насадок варьируется в пределах  $a_n = 64–750$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, поэтому для этого диапазона рассчитаем минимальную плотность орошения  $U_{\min}$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · ч), гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ , Па/м, и скорость захлебывания  $w_z$ , м/с. Для дальнейшего проектирования возьмем две величины удельной поверхности из нашего диапазона, а именно: 250, 400 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Определим объем насадки  $V_{з.н.}$ , м<sup>3</sup>, занимаемый насадкой:

$$V_{з.н.} = h_n \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}, \quad (2)$$

где  $h_n$  – высота насадки, м;  
 $d_n$  – диаметр насадки, м;  
 Объем и площадь насадочного тела равны  $V_n = 0,0000126 \text{ м}^3$ ,  $S_n = 0,044 \text{ м}^2$ .  
 Зная необходимую удельную поверхность, определим количество насадочных тел  $n$ , шт, в насадке:

$$n = \frac{a_n \cdot V_{з.н.}}{S_n} \quad (3)$$

Удельный свободный объем, занимаемый гофрированным листом  $\varepsilon$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , определим по формуле

$$\varepsilon = 1 - \frac{n \cdot V_n}{V_{з.л.}} \quad (4)$$

Определим из рисунка 11, б удельную смоченную поверхность гофрированного листа при расходах жидкости  $Q = 0,01; 0,032; 0,054 \text{ м}^3/\text{ч}$ , получим  $a_r = 0,17; 0,38; 0,51 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

Плотность орошения  $U$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

$$U = Q / 0,785 \cdot d_k^2, \quad (5)$$

где  $Q$  – объемный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $d_k$  – диаметр колонны, м.

Если при заданном значении  $U$  величина  $a_r$  близка к единице, расчет заканчивают. Если меньше – то смачивание считают неудовлетворительным. В этом случае повышают  $U$  с пересчетом скорости захлебывания.

По формуле (5) получены три плотности орошения  $U = 0,566; 1,812; 3,057 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Определим расход жидкости, необходимый для полного смачивания гофрированного листа. Для этого используем расход, при котором происходит максимальное смачивание, и с помощью пропорции найдем полное.

$$Q_{п.г.} = \frac{0,054}{0,51} = 0,106 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Тогда минимальная плотность орошения для полного смачивания всей поверхности насадки по формуле (5) будет равна  $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Для проектируемых нами насадок расходы буду равны.

Эквивалентный диаметр насадки определяется как

$$d_{э.кв.} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a_n} \quad (6)$$

В таблице представлены геометрические параметры для проектируемых насадок.

Таблица – Геометрические параметры проектируемой насадки

Геометрическая характеристика насадки	Насадка 250	Насадка 400
$V_{з.н.}, \text{м}^3$	0,0018	
$n$ , шт	10	16
$\varepsilon$	0,929	0,886
$d_{э.кв.}$	0,014	0,013

Гидравлическое сопротивление без орошения жидкостью насадочного абсорбера можно определить по формуле (7) [17]:

$$\Delta p_{сух} = \frac{H_{нас} \cdot \xi_0 \cdot w_r^2 \cdot \rho_r \cdot a}{8 \cdot \varepsilon^3}, \quad (7)$$

где  $H_{нас}$  – высота насадки, м;  
 $\xi_0$  – эффективный коэффициент трения;  
 $w_r$  – средняя скорость газа в колонне, м/с;  
 $\rho_r$  – плотность газовой смеси при рабочих условиях,  $\text{кг}/\text{м}^3$  [17].

Для расчета гидравлического сопротивления используем данные, полученные ранее [13–16], и определим эффективный коэффициент трения  $\xi_0$ . Подставив все известные данные в уравнение (7), рассчитаем гидравлическое сопротивление при скоростях газа в диапазоне 0–3 м/с.

В результате расчетов получены графические зависимости гидравлического сопротивления без орошения от скорости газа для насадок с зигзагообразной формой каналов 250 и 400 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> (рисунок 13).

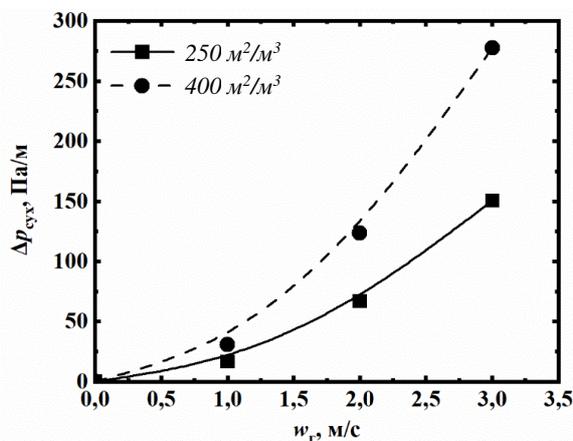


Рисунок 13. – Изменение гидравлического сопротивления для насадок зигзагообразной формы без орошения жидкостью

Из рисунка 13 видно, что гидравлическое сопротивление у насадки с удельной поверхностью 400 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> выше, чем у насадки 250 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Полученные зависимости позволяют определить необходимое количество мощности для преодоления сопротивления газом и осуществить корректный подбор воздухоудвки.

**Заключение.** В результате проведенного исследования смачивания гофрированных листов, используемых в регулярных структурированных насадках, были сделаны выводы, касающиеся их гидродинамических характеристик. Перфорация гофрированных элементов была определена как ключевой фактор, способствующий улучшению смачивания и равномерному распределению жидкости по поверхности. Это, в свою очередь, ведет к повышению интенсивности взаимодействия фаз, что критически важно для оптимизации процессов разделения в химической промышленности.

Однако, несмотря на положительные результаты, следует отметить ряд ограничений и недостатков данного исследования. Во-первых, эксперименты проводились в контролируемых условиях, что может не полностью отражать реальную работу насадок в промышленных условиях, где влияние множества факторов, таких как температура, давление и состав рабочей жидкости, может значительно варьироваться. Во-вторых, влияние перфорации на долговечность и устойчивость гофрированных листов требует дальнейшего изучения, поскольку увеличение числа отверстий может ослабить конструкцию и привести к механическим повреждениям.

Также важно подчеркнуть, что выбор оптимальных геометрических параметров, таких как длина образующей, не всегда является универсальным. Рекомендуется провести дополнительные исследования, направленные на анализ влияния различных геометрий и конфигураций на эффективность смачивания в разных условиях эксплуатации.

Таким образом, данное исследование подтверждает значимость регулярных структурированных насадок и их оптимизации для повышения эффективности процессов в химической промышленности. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований и разработок, направленных на создание более эффективных и надежных насадок, способных справляться с растущими требованиями современных технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Croce G., Suzzi N. Instability of a Film Falling Down a Bounded Plate and Its Application to Structured Packing // Fluids. – 2025. – Vol. 10, No. 2. – P. 30. DOI: 10.3390/fluids10020030
2. Suzzi N., Croce G. Numerical Simulation of Rivulet Build Up via Lubrication Equations // J. Phys.: Conf. Ser. – 2017. – Vol. 923, No. 1. – P. 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/923/1/012020
3. Studying the process of freons mixture separation on a structured packing Sultzer 500X / A. Pavlenko, V. Zhukov, N. Pecherkin et al. // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 258. – P. 11008. DOI: 10.1051/e3sconf/202125811008
4. Mazarei Sotoodeh M., Zivdar M., Rahimi R. CFD Simulation of Dry and Wet Pressure Drops and Flow Pattern in Catalytic Structured Packings // Journal of Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 51, No. 1. – P. 27–37. DOI: 10.22059/jchpe.2017.62163
5. Experimental and numerical study of mass transfer efficiency in new wire gauze with high capacity structured packing / Y. Amini, J. Karimi-Sabet, M. Nasr Esfahany et al. // Separation Science and Technology. – 2018. – Vol. 54, No. 1. – P. 1–12. DOI: 10.1080/01496395.2018.1549076

6. Experimental Investigation of Pressure Drop, Liquid Hold-Up and Mass Transfer Parameters in a 0.5 m Diameter Absorber Column / A. Zakeri, A. Einbu, P.O. Wiig et al. // *Energy Procedia*. – 2011. – Vol. 4. – P. 606–613. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.01.095
7. Haroun Y., Raynal L. Use of Computational Fluid Dynamics for Absorption Packed Column Design // *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*. – 2015. – Vol. 71, No. 3. – P. 1–18. DOI: 10.2516/ogst/2015027
8. Marcelo H.B. Gas absorption experiments in a pilot plant column with the Sulzer structured packing Mellapak. – Lausanne: EPFL, 1992. – 276 p. DOI: 10.5075/epfl-thesis-984
9. Smutek J., Isoz M. Numerical Simulation of Flow in Superpak Family Packings // *Proceedings of the TPFM Conference*. – 2018. – P. 257–264. DOI: 10.14311/TPFM.2018.035
10. Isoz M. CFD Study of Gas Flow Through Structured Separation Columns Packings Mellapak 250.X and Mellapak 250.Y // *Proceedings of the TPFM Conference*. – 2017. – P. 171–184. DOI: 10.14311/TPFM.2017.023
11. Novikova I., Pushnov A. New Structured Packing CUB for Purification of Exhaust Gases // *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*. – 2016. – Vol. 8, No. 4. – P. 438–442. DOI: 10.3846/mla.2016.954
12. Minimal Surfaces as Constant-Energy Surfaces for Maximum Heat and Mass Transfer Efficiency in Structured Packing of the Distillation Column / I.A. Arkharov, A.M. Arkharov, E.S. Navasardyan et al. // *Journal of Enhanced Heat Transfer*. – 2018. – Vol. 25, No. 2. – P. 143–159. DOI: 10.1615/JEnhHeatTransf.2018026639
13. Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е. Гидравлическое сопротивление регулярных насадок массообменных аппаратов // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки*. – 2020. – № 8. – С. 33–38.
14. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов // *Тр. БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология*. – 2020. – № 2(235). – С. 44–49.
15. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Технично-экономическое обоснование и выбор оптимальной насадки // *Тр. БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология*. – 2021. – № 1(241). – С. 69–73.
16. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю., Волк А.М. Влияние геометрических параметров регулярной структурированной насадки на гидродинамику и массообмен // *Тр. БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология*. – 2021. – № 2(247). – С. 67–71.
17. Рамм, В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

## REFERENCE

1. Croce, G. & Suzzi, N. (2025). Instability of a Film Falling Down a Bounded Plate and Its Application to Structured Packing. *Fluids*, 10(2), 30. DOI: 10.3390/fluids10020030
2. Suzzi, N. & Croce, G. (2017). Numerical Simulation of Rivulet Build Up via Lubrication Equations. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 923(1), 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/923/1/012020
3. Pavlenko, A., Zhukov, V., Pecherkin, N., Slesareva, E., Boyadjiev, C. & Dzhonova-Atanasova, D. (2021). Studying the process of freons mixture separation on a structured packing Sultzer 500X. *E3S Web of Conferences*, (258), 11008. DOI: 10.1051/e3sconf/202125811008
4. Mazarei Sotoodeh, M., Zivdar, M. & Rahimi, R. (2017). CFD Simulation of Dry and Wet Pressure Drops and Flow Pattern in Catalytic Structured Packings. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 51(1), 27–37. DOI: 10.22059/jchpe.2017.62163
5. Amini, Y., Karimi-Sabet, J., Nasr Esfahany, M., Haghshenasfard, M. & Dastbaz, A. (2018). Experimental and numerical study of mass transfer efficiency in new wire gauze with high capacity structured packing. *Separation Science and Technology*, 54(4), 614–623. DOI: 10.1080/01496395.2018.1549076
6. Zakeri, A., Einbu, A., Wiig, P.O., Øi, L. E. & Svendsen, H.F. (2011). Experimental Investigation of Pressure Drop, Liquid Hold-Up and Mass Transfer Parameters in a 0.5 m Diameter Absorber Column. *Energy Procedia*, (4), 606–613. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.01.095
7. Haroun, Y. & Raynal, L. (2015). Use of Computational Fluid Dynamics for Absorption Packed Column Design. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*, 70(4), 667–678. DOI: 10.2516/ogst/2015027
8. Marcelo, H.B. (1992). *Gas absorption experiments in a pilot plant column with the Sulzer structured packing Mellapak*. Lausanne: EPFL. DOI: 10.5075/epfl-thesis-984
9. Smutek, J. & Isoz, M. (2018). Numerical Simulation of Flow in Superpak Family Packings. *Proceedings of the TPFM Conference*, (257–264). DOI: 10.14311/TPFM.2018.035
10. Isoz, M. (2017). CFD Study of Gas Flow Through Structured Separation Columns Packings Mellapak 250.X and Mellapak 250.Y. *Proceedings of the TPFM Conference*, (171–184). DOI: 10.14311/TPFM.2017.023
11. Novikova, I. & Pushnov, A. (2016). New Structured Packing CUB for Purification of Exhaust Gases. *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*, 8(4), 438–442. DOI: 10.3846/mla.2016.954
12. Arkharov, I.A., Arkharov, A.M., Navasardyan, E.S. & Dontzov, A.V. (2018). Minimal Surfaces as Constant-Energy Surfaces for Maximum Heat and Mass Transfer Efficiency in Structured Packing of the Distillation Column. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 25(2), 143–159. DOI: 10.1615/JEnhHeatTransf.2018026639
13. Мытько, Д.Ю. & Вайтехович, П.Е. (2020). Гидравлическое сопротивление регулярных насадок массообменных аппаратов [Hydraulic Resistance of Regular Attachments of Mass Exchange Devices]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki [Herald of Polotsk State University. Series F, Civil engineering. Applied sciences]*, (8), 33–38. (In Russ., abstr. in Engl.).
14. Вайтехович, П.Е. & Мытько, Д.Ю. (2021). Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов [Comparative Analysis of the Effectiveness of Regular Attachments for Mass Transfer Devices]. *Trudy BGTU*.

- Seriya 2, Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geokologiya [Proceedings of BSTU. Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology]*, 2(235), 44–49. (In Russ., abstr. in Engl.).
15. Vaitekhovich, P.E. & Myt'ko, D.Yu. (2021). Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie i vybor optimal'noi nasadki [Technical and economic comparison and selection of the optimal nozzle]. *Trudy BGTU. Seriya 2, Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geokologiya [Proceedings of BSTU. Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology]*, 1(241), 69–73. (In Russ., abstr. in Engl.).
  16. Vaitekhovich, P.E., Myt'ko, D.Yu. & Volk, A.M. (2021). Vliyanie geometricheskikh parametrov regulyarnoi strukturirovanoi nasadki na gidrodinamiku i massoobmen [Influence of Geometric Parameters of Regular Structured Packing on Hydrodynamics and Mass Transfer]. *Trudy BGTU. Seriya 2, Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geokologiya [Proceedings of BSTU. Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology]*, 2(247), 67–731 (In Russ., abstr. in Engl.).
  17. Ramm, V.M. (1976) *Absorbtsiya gazov [Absorption of Gases]*. Moscow: Khimiya. (In Russ.)

Поступила 01.10.2024

## STUDY OF WETTING OF THE SURFACE OF A REGULAR STRUCTURED PACKING ELEMENT

D. MYTSKO, YA. YANG, X. ZHAO, ZH. SUN  
(Belarusian State Technological University, Minsk)

*This work presents a study of the wetting of the surface of elements of regular structured packing used in phase separation processes in the chemical industry. Regular structured packings are known for their high throughput and mass transfer efficiency, making them important for optimizing processes. The experiments assessed the influence of geometric characteristics of corrugated sheets, such as the length of the generating line and the presence of perforation, on the efficiency of wetting and hydrodynamic parameters. The results showed that perforation of the corrugated elements significantly improves wetting, promoting uniform distribution of the liquid over the surface and increasing the intensity of phase interactions.*

*Based on the obtained data, the optimal size of the generating corrugation was determined. In particular, a generating size of 8 mm was recognized as the most effective and was used for designing two types of packings with specific surfaces of 250 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> and 400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. The results are of significant practical importance and can be used for the development of more efficient equipment in the chemical industry, which in turn contributes to improved performance and reduced costs.*

**Keywords:** wetting, corrugated sheets, perforation, regular structured packing, hydrodynamics, hydraulic resistance, packing design, chemical industry.