

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по образовательной программе 8D07180 – Технологические машины и оборудование (по отраслям)

**Серикова Абляя Сериковича**

### **Гидродинамика и массообмен в аппарате с вихревым взаимодействием потоков в условиях вращательного движения насадочных элементов**

**Цель диссертационного исследования:** разработка конструкции аппарата с регулярной вращающейся насадкой с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом, получение уравнений для расчета частоты вращения, гидродинамических характеристик и параметров массообмена, создание научно-обоснованных методов расчета, рекомендаций по эксплуатации и проектированию и внедрение технической документации в промышленности.

**Задачи исследования:**

- изучение закономерностей взаимодействия газовой и жидкой фаз в контактной зоне регулярной вращающейся насадкой с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом и получение расчетных зависимостей структурных составляющих жидкой фазы;

- экспериментальное исследование параметров движения насадочных элементов (частоты вращения), гидродинамических характеристик (гидравлического сопротивления, количества удерживаемой жидкости, газосодержания слоя) регулярной вращающейся насадкой с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом при изменении режимных и конструктивных параметров и получение расчетных зависимостей;

- экспериментальное исследование массообменных характеристик (коэффициентов массоотдачи в газовой и жидкой фазах) при изменении режимных параметров и получение расчетных зависимостей;

- разработка научно-обоснованной инженерной методики расчета разработанного аппарата и рекомендаций по проектированию и эксплуатации;

- внедрение технической документации в промышленности.

**Методы исследования:** методы физических исследований для получения опытных данных по гидродинамике (гидравлического сопротивления, количества удерживаемой жидкости, структурных составляющих жидкой фазы), частоты вращения насадочных элементов, коэффициентов массоотдачи в газовой и жидкой фазах.

**Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:**

- принимая, что движение газа в объеме вращающейся насадки осуществляется по извилистым каналам, получены расчетные зависимости

для определения удельной поверхности, ее объемной порозности, а также эквивалентного диаметра;

- исходя из баланса сил, действующих на прямоугольные лопасти вращающейся насадки получены уравнения для определения частоты ее вращения;

- исходя из выявленных закономерностей взаимодействия вихрей в объеме вращающихся насадочных элементов с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом получены уравнения для расчета коэффициентов сопротивления, гидравлического сопротивления и количества удерживаемой жидкости;

- предложен механизм дробления пленки жидкости, движущейся по прямоугольным лопастям и ободу во вращающемся насадочном элементе на струйки и капли с учетом вихревого механизма взаимодействия фаз, и исходя из анализа сил, действующих на структурные элементы жидкой фазы, получены уравнения для определения средних значений толщины пленки, диаметра струй и размера капель;

- на основе использования диссипативного подхода получены уравнения для определения коэффициентов массоотдачи в газовой и жидкой фазах.

### **Описание основных результатов исследования.**

При проведении лабораторных исследований разработанной конструкции аппарата с регулярной вращающейся насадкой с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом получены графические зависимости и расчетные уравнения конструктивных параметров насадки, частоты вращения насадочных элементов, гидродинамических и массообменных характеристик.

#### ***Конструктивные параметры насадки.***

*Порозность вращающейся насадки в сечении аппарата:*

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{0,785 \cdot d_{\text{тр}}^2 + 8 \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot l + \pi \cdot d_{\text{об}} \cdot \delta}{t_{\text{р}}^2} \quad (1)$$

*Объемная порозность регулярной вращающейся насадки:*

$$\varepsilon = 1 - \frac{0,785 \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot t_{\text{в}} + 8 \cdot \cos \alpha \cdot l \cdot \delta_{\text{лоп}} + 3,14 \cdot d_{\text{об}} \cdot h_{\text{об}} \cdot \delta_{\text{об}}}{t_{\text{р}}^2 \cdot t_{\text{в}}} \quad (2)$$

*Эквивалентный диаметр регулярной вращающейся насадки:*

$$d_{\text{экв}} = \frac{4 \cdot [t_{\text{р}}^2 \cdot t_{\text{в}} - (0,785 \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot t_{\text{в}} + 8 \cdot \cos \alpha \cdot l \cdot \delta_{\text{лоп}} + 3,14 \cdot d_{\text{об}} \cdot h_{\text{об}} \cdot \delta_{\text{об}})]}{3,14 \cdot d_{\text{тр}} \cdot t_{\text{в}} + 16 \cdot b \cdot l + 6,28 \cdot d_{\text{об}} \cdot h_{\text{об}}} \quad (3)$$

#### ***Частота вращения насадочных элементов.***

$$\omega_{\text{вр}} = \frac{1,7}{\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{(\rho_{\text{г}} \cdot W_{\text{г}}^2 - \rho_{\text{ж}} \cdot W_{\text{ж}}^2) \cdot S \cdot \sin \alpha \cdot K}{2mR + \rho_{\text{г}} \cdot R^2 \cdot S \cdot \sin \alpha \cdot \text{tg} \alpha}} \quad (4)$$

**Гидродинамические характеристики.** Гидравлическое сопротивление насадочной зоны определяется по известной зависимости Дарси-Вейсбаха. Входящий в нее коэффициент сопротивления для регулярной вращающейся насадки с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом имеет вид:

$$\xi_L = 0,212 \cdot \theta_b \cdot \theta_p \cdot \sqrt{\frac{\text{Re}_y \cdot \text{Re}_{жс}}{\text{Re}_\Gamma}} \quad (5)$$

Количество удерживаемой жидкости:

$$h_o = 0,476 \cdot \xi_L \cdot \frac{H}{d_{экр}} \cdot \frac{\rho_\Gamma W_\Gamma^2}{2 \cdot \rho_{жс} \cdot g \cdot \varepsilon_0^2} \quad (6)$$

Газосодержание слоя:

$$\varphi = \varepsilon - \frac{h_o}{H} \quad (7)$$

*Структурные составляющие жидкой фазы.*

Толщина пленки жидкости на внутренней поверхности обода:

$$\delta_{пл}^{об} = \left( \frac{3 \cdot v_{жс} \cdot U_{жс} \cdot B_s}{2 \cdot \omega_{вр}^2 \cdot \sin \alpha} \right)^{1/3} \quad (8)$$

Диаметр струй жидкости:

$$d_{стр} = 1,6 \cdot \left( \frac{\sigma}{\rho_{жс} \cdot \left( \frac{d_{об}}{2} \right) \cdot \omega_{вр}^2} \right)^{0,5} \quad (9)$$

Диаметр капель:

$$d_k = 0,925 \cdot \xi_L^{1/3} \cdot \frac{\rho_{жс}^{1/6} \cdot d_{стр}^{2/3} \cdot \sigma^{1/3} \cdot U_\Gamma}{U_{стр}^{5/3} \cdot \rho_\Gamma^{1,2}} \quad (10)$$

**Массообменные характеристики.**

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе рассчитывается по формуле:

$$\beta_{ГС} = 2,25 \cdot \left( \frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^{1/2} \cdot \xi_L \cdot \frac{U_\kappa^{1/2} \cdot v_\Gamma^{5/6} \cdot \Phi^2}{d_\kappa^{1/2} \cdot D_\Gamma^{1/3}} \quad (11)$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе рассчитывается по формуле:

$$\beta_{жс} = 30,94 \cdot \left[ \frac{(1-\varphi)}{\varphi} \right]^{1/4} \cdot \left[ \xi_L \cdot \frac{(1-\varepsilon_0)}{(1-\varphi_{яч})} \cdot \frac{K_\rho \cdot D_{жс}^2 \cdot U_\Gamma^3}{t_\sigma \cdot v_{жс}} \right]^{1/4} \quad (12)$$

**Условные обозначения:**  $d_{\text{тр}}$  – диаметр трубы, м;  $b$  и  $l$  – ширина и длина лопасти, м;  $\alpha$  – угол наклона лопасти;  $d_{\text{об}}$  – диаметр обода, м;  $\delta$  – толщина обода, м;  $t_{\text{в}}$  – вертикальный шаг;  $t_{\text{р}}$  – радиальный шаг;  $K$  – количество лопастей;  $\theta_{\text{в}}$  и  $\theta_{\text{р}}$  – коэффициенты, характеризующие степень взаимодействия вихрей в вертикальном и радиальном направлениях;  $Re_{\text{г}}$ ,  $Re_{\text{ж}}$ ,  $Re_{\text{жс}}$  – числа Рейнольдса модифицированное, по газовой и жидкой фазам;  $H$  – высота насадочной зоны, м.

#### **Обоснование новизны и важности полученных результатов.**

Новизной расчетных зависимостей для определения удельной поверхности вращающейся насадки, ее объемной порозности, эквивалентного диаметра, а также частоты ее вращения является то, что они получены для вновь созданной насадки, защищенной патентом РК.

Новизна уравнений для расчета коэффициентов сопротивления, гидравлического сопротивления и количества удерживаемой жидкости заключается в учете выявленных закономерностей взаимодействия вихрей в объеме вращающихся насадочных элементов с прямоугольными лопастями и кольцевым ободом.

Уравнения для определения средних значений толщины пленки, диаметра струй и размера капель являются новыми, так как базируются на предложенном механизме дробления пленки жидкости, движущейся по прямоугольным лопастям и ободу во вращающемся насадочном элементе на струйки и капли с учетом вихревого механизма взаимодействия фаз.

Новизной уравнений для определения коэффициентов массоотдачи в газовой и жидкой фазах является то, что они учитывают вихревое взаимодействие потоков в объеме вращающихся насадочных элементов, а также диссипацию энергии основного потока по механизму каскадного переноса энергии.

Важность полученных уравнений состоит в том, что они составляют основу инженерной методики расчета и, наряду с рекомендациями по проектированию и эксплуатации позволяют рассчитывать промышленные образцы.

**Соответствие направлениям развития науки или государственным программам.** Работа выполнялась в соответствии с приоритетным направлением исследований МН и ВО РК на 2022-2024 годы «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология» по специализированному научному направлению «Системы очистки воды, газоочистки, почв и пылеулавливания».

**Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 статей. Общий объем вклада докторанта составляет ~70%. Вклад в статьи представляют такие составляющие, как проведение экспериментальных исследований, обработка результатов в виде табличных значений и графических зависимостей, полученные расчетные уравнения.