



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.3.3>

UDC 502.13:628.52

LBC 30.692

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF NOZZLE DEVICES
FOR SELECTIVE PURIFICATION OF GAS EMISSIONS
IN INDUSTRIAL ADSORBERS,
DEPENDING ON THE DEGREE OF IRRIGATION**

Aleksey O. Bodrov

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Elena A. Ivantsova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article presents a comparative analysis of nozzle devices for selective purification of gas emissions in industrial adsorbers, depending on the degree of irrigation. The scheme of an experimental installation is presented, which includes the modular principle of researching and changing nozzles using cartridges, which allows for a quick and accurate study of heat, mass transfer and hydromechanical characteristics of nozzle devices. Such indicators as hydraulic resistance, holding capacity, and criterion dependence are compared. In conclusion, a correlation analysis is given (pressure gradient depending on the irrigation rate). Conclusions are drawn about the properties of the nozzle, which manifest themselves depending on the irrigation rate.

Key words: packing device, selective purification of gas emissions, industrial adsorbers, experimental setup, irrigated nozzle.

Citation. Bodrov A.O., Ivantsova E.A. Comparative Characteristics of Nozzle Devices for Selective Purification of Gas Emissions in Industrial Adsorbers, Depending on the Degree of Irrigation. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 3, pp. 22-34. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.3.3>

УДК 502.13:628.52

ББК 30.692

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАСАДОЧНЫХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ АДСОРБЕРАХ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ОРОШЕНИЯ**

Алексей Олегович Бодров

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Елена Анатольевна Иванцова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ насадочных устройств для селективной очистки газовых выбросов в промышленных адсорберах в зависимости от степени орошения. Приведена схема экспериментальной установки, в которую заложен модульный принцип исследования и смены насадок с помощью картриджей, что позволяет осуществить быстрое и точное исследование тепло-, массообменных и гидромеханических характеристик насадочных устройств. Сравняются такие показатели, как гидравлическое сопротивление, удерживающая способность, критериальная зависимость. В заключении приведен корреляционный анализ (градиент давления в зависимости от скорости орошения). Сделаны выводы о свойствах насадки, которые проявляются в зависимости от скорости орошения.

Ключевые слова: насадочное устройство, селективная очистка газовых выбросов, промышленные адсорберы, экспериментальная установка, орошаемая насадка.

Цитирование. Бодров А. О., Иванцова Е. А. Сравнительная характеристика насадочных устройств для селективной очистки газовых выбросов в промышленных адсорберах в зависимости от степени орошения // *Природные системы и ресурсы*. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 22–34. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.3.3>

Введение

В настоящее время известно большое количество разнообразных массообменных устройств, при этом продолжается разработка новых прогрессивных. Это объясняется тем, что к массообменным устройствам предъявляется большое количество требований, многие из которых противоречат друг другу. Поэтому невозможно разработать универсальную конструкцию массообменных устройств. К конструкциям массообменных устройств предъявляются следующие требования: дешевизна, простота в обслуживании, высокая производительность, максимально развитая поверхность контакта между фазами и эффективность передачи массы вещества из одной фазы в другую, устойчивость режима в широком диапазоне нагрузок, максимальная пропускная способность по паровой (газовой) и жидкой фазе, минимальное гидравлическое сопротивление, прочность конструкции, долговечность и так далее. В связи с тем, что требования к контактному устройству достаточно быстро меняются из-за быстрого прогресса в производстве контактных устройств, данная тема является особенно актуальной, поскольку предприятиям необходимо совершенствовать производство как можно быстрее [1; 2]. Представленная разработка предлагаемой насадки в процессе экологической очистки сточных вод от дымовых газов экологически целесообразна и весьма актуальна, поскольку абсорбционные колонны широко применяются во многих отраслях промышленности [2; 3].

Материалы и методы исследования

Для проведения сравнительных характеристик насадок с различным типом орошения нами была разработана экспериментальная установка, в которую был заложен модульный принцип исследования и смены насадок с помощью картриджей. Данная система позволит осуществить быстрое и точное исследование тепло-, и массообменных и гидромеханических характеристик насадочных устройств [1; 2].

Экспериментальная установка (см. рис. 1) состоит из трех основных модулей, каждый из которых отвечает за отдельный спектр исследований. В каждом из модулей реализована картриджная система сменных насадок, позволяющая осуществить быструю смену насадок и обеспечивающая стабильную воспроизводимость экспериментальных данных в повторных экспериментах. Картриджи представляют собой прозрачные стеклянные цилиндрические и призматические колонны. Геометрическая конфигурация самого картриджа зависит от типа насадки и методики изготовления ее пилотного образца, так как многие структурированные насадки требуют очень четкой пространственной фиксации, и призматические картриджи с внутренними структурными элементами (скелетами) существенно упрощают задачу [2].

В первом модуле реализуется широкий спектр традиционных экспериментальных исследований, таких как гидравлическое сопротивление сухих и орошаемых насадок, удерживающая способность по жидкости и газу, гидравлические режимы и оптимальные диапазоны расходов жидкости и газов, коэффици-

енты тепло- и массопередачи и т. д. Особую ценность, наряду с традиционными критериями, для нас составляет удерживающая способность по жидкости и газу, которая является отражением аккумулирующей способности насадки, дающая возможность рассчитать время пребывания контактирующих фаз в аппарате, указать на суммарную поверхность тепло-массопередачи для целого ряда насадок. Очень важной подтвержденной функцией экспериментального определения удерживающей способности является то, что она способна засвидетельствовать о наличии застойных зон в насадочных устройствах. Этот способ заключается в импульсной продувке насадочных устройств после первого замера удерживающей способности и объем остаточной жидкости укажет на относительный процент застойных зон в объеме насадки. Следует иметь в виду, что в первом модуле сменными являются не только исследуемые картриджные насадки, но и верхняя часть несущей колонны [2].

Второй модуль экспериментальной установки ориентирован на исследование структур потоков по жидкости и газу сквозь насадочные устройства любых конфигураций. По-

лученные данные по структурам потоков позволят дополнить расчет массообменных аппаратов по ячеечной, диффузионной и комбинированным моделям [2; 3]. Данная методика исследования структур потоков насадочных устройств позволяет не только получать необходимые реальные экспериментальные данные, дополняющие расчетные математические модели процессов, но и проводить классификацию насадок и выступать одной из важнейших классифицирующих характеристик. Кроме того, экспериментальное определение реальных структур потоков сквозь насадочные слои также позволяет выявить застойные зоны в объеме насадки [4; 14–17].

Третий модуль экспериментальной установки позволяет, частично сглаживая масштабный переход, испытывать насадочные устройства в колонне большего размера, приближенной к реальным аппаратам малой производительности. Он состоит из газораспределительного и водосборного коллектора, на который устанавливаются сменные колонны с испытываемыми образцами насадок.

На рисунке 2 представлена схема и принцип работы экспериментальной установки.

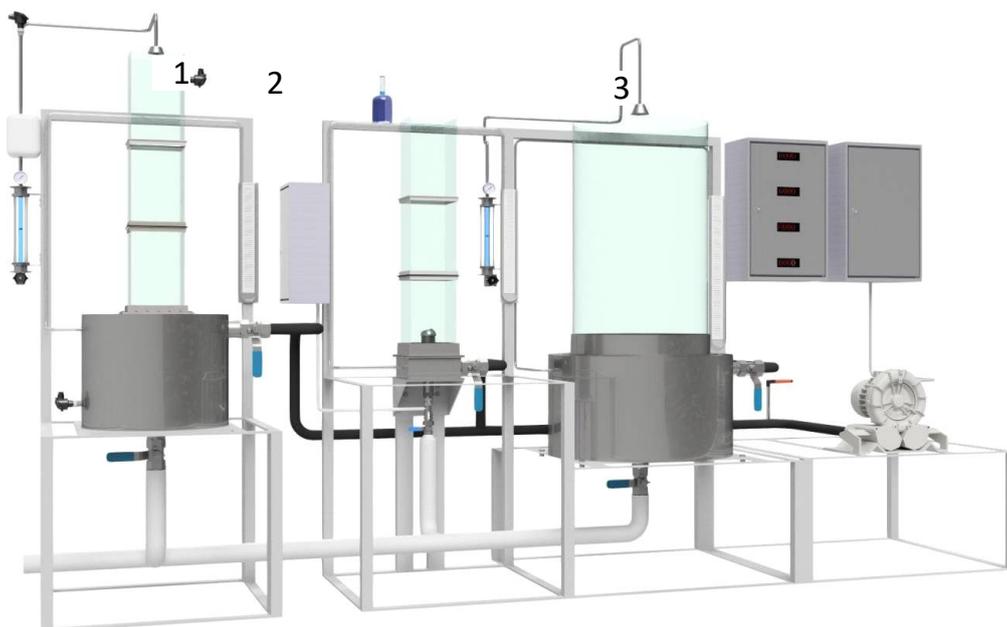


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования гидродинамических, тепло- и массообменных характеристик насадочных устройств различных конфигураций:

- 1 – модуль исследования традиционных гидравлических и тепло- и массообменных характеристик насадок;
- 2 – модуль исследования структур потоков по жидкости и газу;
- 3 – модуль для адаптации насадочных устройств для реальных промышленных условий

Примечание. Источник: [2].

Экспериментальная установка состоит из опорных каркасов (1) и установленных на их корпусах колонн (2), закрепленных на водосборных и газораспределительных коллекторах (3). Корпус колонны (2) выполняет несущую функцию, в него помещаются сменные картриджи с насадочными устройствами (4). Картридж заполняется исследуемой насадкой и помещается в корпус колонны (2). Картридж представляет собой прозрачный цилиндрический или призматический канал, имеющий опорную решетку. Следует отметить, что корпуса колонн (2) являются быстросъемными, для замены в зависимости от формы устанавливаемого картриджа (4). Стенки корпусов колонн (2) выполнены плоскими (цилиндрическими) и прозрачными, что позволяет без искажения наблюдать работу насадки в различных гидродинамических

режимах и осуществлять съемку скоростной видеокамерой. Насадки орошаются жидкостью с помощью оросителей со сменными распределителями (10), расход жидкости регулируется при помощи ротаметров (9). Противотоком сквозь насадку 4 движется поток газа, поступающий по воздухораспределительному каналу (7). Расход газа контролируется при помощи газового расходомера (8), который транслирует скорость и объемный расход газа. Расход газового потока регулируется при помощи частотных преобразователей (6), подающих сигнал на напорную воздуходувку (5 вихревой турбокомпрессор). Контролируемыми параметрами являются: расход, подаваемой на орошение воды, контролируемый ротаметрами (9) и подогреваемой проточным водонагревателем (11), тепловая мощность которого регулируется по-

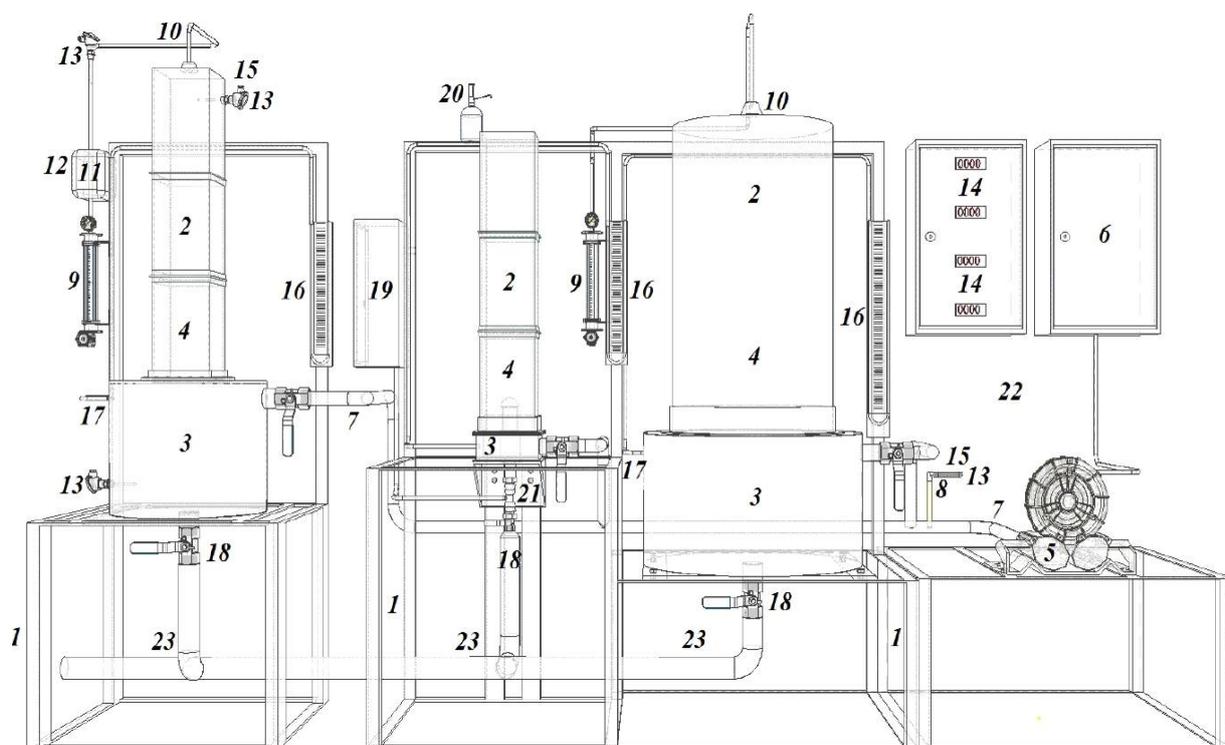


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

- 1 – опорная станина; 2 – корпус колонны; 3 – водосборный и газораспределительный коллектор;
- 4 – исследуемые насадочные устройства в картриджах; 5 – напорная воздуходувка; 6 – частотные преобразователи;
- 7 – воздухораспределительный канал; 8 – газовый расходомер с указанием скорости и объемного расхода;
- 9 – ротаметры; 10 – распределители жидкости сменные; 11 – проточный водонагреватель; 12 – потенциометр регулировки нагрева воды; 13 – температурные датчики; 14 – микропроцессорные приборы обрабатывающие сигнал температурных датчиков; 15 – гигрометры; 16 – дифманометры; 17 – указатели уровня жидкости в коллекторах;
- 18 – вентили сливные быстросъемные; 19 – блок для снятия кривых отклика; 20 – механический дозатор индикаторных растворов; 21 – сменные электродные группы; 22 – экран для нанесения тарировочных графиков;
- 23 – труба для слива воды в канализацию

Примечание. Источник: [2].

тенциометром (12). Температура воды контролируется с помощью температурных датчиков (13) на входе и выходе, сигнал от которых обрабатывается в микропроцессорных приборах (14), программируемых под очень широкий диапазон датчиков. Температура и влажность газа, поступающего и уходящего из колонн, фиксируется с помощью температурных датчиков (13) и гигрометров (15). Гидравлическое сопротивление слоя насадки замеряется с помощью дифференциальных манометров (16 жидкостных и электронных). Уровень жидкости в водосборных и газораспределительных коллекторах (3) контролируется с помощью указателей уровня (17). Подача жидкости на орошение насадки и регулирование ее расхода осуществляется с помощью ротаметров (9), а ее накопление в водосборной емкости и истечение – с помощью кранов (18). Вода из водосборных емкостей сливается в канализацию (23) через гидравлический затвор, легко снимаемого его штуцера крана (18), что необходимо при проведении опытов по определению удерживающей способности насадки [2; 3].

Опыты по определению гидравлического сопротивления орошаемой насадки рекомендуется проводить в следующем порядке: заполнить картридж (4) подлежащей исследованию насадкой и поместить его в корпус колонны (2); проверить готовность гидравлического затвора (23) к работе установки; установить заданную плотность орошения, плавно увеличивая расход ротаметра (9); подключить блок частотных преобразователей (6) к электросети; плавно вращая потенциометр частотного преобразователя (6), установить начальный расход воздуха, при котором показания дифманометров (16) будут достаточны для выполнения замеров. Объемный расход и скорость воздуха транслируется с высокой точностью при помощи датчика (8), их необходимо заносить в журнал экспериментальных исследований; увеличивая ступенчато расход воздуха, при постоянной плотности орошения, снять показания дифманометров (16) и датчиков температур (13) воды [2] и воздуха на входе и выходе, для каждого из установленных ступенчатых значений расходов воздуха. Количество измерений в опытах определяется максимально возможным числом оборотов вентилятора и должно быть не менее десяти. Количество повторов опыта с

каждым видом насадки должно быть не менее трех; необходимо следить за последовательными гидравлическими режимами и с высокой точностью зафиксировать переходные этапы между режимами вплоть до захлебывания колонны, если это реализуемо для данной насадки. Весь ход опытов подробно описывать в журнале экспериментальных исследований. По окончании опытов отключить от электросети блок частотных преобразователей (6).

Результаты и обсуждение

Результаты эксперимента с использованием сухой насадки и насадки орошаемой указаны в таблице 1.

Испытания проводились на разработанной насадке из металлической стружки с разными плотностями орошения, а также на неоорошаемой аналогичной насадке. Температура воды + 9 °С, температура воздуха + 27,1 °С, высота слоя насадки 0,4 м.

Алгоритм расчета:

Фиктивная скорость газа определяется по формуле (1):

$$v_{\phi} = \frac{q_v}{F} \quad (1)$$

где v_{ϕ} – фиктивная скорость газа, м/с; q_v – расход воздуха, м³/с; F – площадь поперечного сечения слоя насадки, м².

Определяем градиент давления по следующей формуле (2):

$$\text{grad } P = \frac{\Delta P}{H} \quad (2)$$

где $\text{grad } P$ – градиент давления, Па/м; ΔP – гидравлическое сопротивление, Па; H – высота слоя насадки, м.

Строим график зависимость фиктивной скорости от градиента давления (см. рис. 3).

Также была проведена серия экспериментов, направленная на сравнение зависимости градиента гидравлического сопротивления по отношению к скорости потока воздуха. Исследуемый насадочный блок подвергся сравнению с такими стандартными насадками, как: кольца Палля, как организованные, так и помещенные в навал и кольца Рашига, как организованные, так и помещенные в навал. Результаты серии экспериментов представлены на рисунке 4.

Таблица 1

Результаты эксперимента с использованием сухой насадки и насадки орошаемой

Сухая насадка				Насадка орошаемая (плотность орошения 3,6 кгW/m ² c)			
расход по газу, м ³ /ч	1 опыт, мм вод. ст.	2 опыт, мм вод. ст.	3 опыт, мм вод. ст.	расход по газу, м ³ /ч	1 опыт, мм вод. ст.	2 опыт, мм вод. ст.	3 опыт, мм вод. ст.
10	1,5	1,5	1,5	10	1,5	1,5	1,5
20	2,5	2,4	2,5	20	3,3	3	2,5
30	4	4	3,5	30	4	3,7	4,4
40	5	4,5	4,9	40	6	5,6	11
50	6,5	6,5	6,8	50	8,5	16,5	13,5
60	9	8,5	8,6	60	19	19	18,5
70	11	11,5	11	70	23,5	23	23,5
80	13	13	13	80	26,5	27	27
90	17	16,5	16,4	90	32,5	31	30
100	19	19,4	18,9	100	38	40	39,5
110	24	23,5	23,6	110	49	47,5	49,5
120	28	28	27,5	120	63,5	64,5	63,5
125	29	29	29	125	64	64,5	63,5

Насадка орошаемая (плотность орошения 4 кгW/m ² c)				Насадка орошаемая (плотность орошения 2,25 кгW/m ² c)			
расход по газу, м ³ /ч	1 опыт, мм вод. ст.	2 опыт, мм вод. ст.	3 опыт, мм вод. ст.	расход по газу, м ³ /ч	1 опыт, мм вод. ст.	2 опыт, мм вод. ст.	3 опыт, мм вод. ст.
10	1,5	1,5	1,5	10	1,5	1,5	1,5
20	3	2,5	3	20	3,5	3,5	3,5
30	4,8	5,2	5	30	4	4	4,5
40	7	10,5	13,5	40	7	6	6,5
50	17,4	16,6	16,5	50	14	14	14,5
60	23,4	18,5	18,7	60	17,5	17,7	18,5
70	26,1	24,5	23,4	70	23,5	22,5	23
80	29	29	27,5	80	28	25,5	26,3
90	38	36,5	33,4	90	32	31,5	31,6
100	42,5	42	44	100	39	37,5	37,5
110	56	57	56,5	110	44,5	45	45,3
120	68	63,4	63,5	120	53	52,5	54
125	75	73,4	75,5	125	61	62,5	62,3

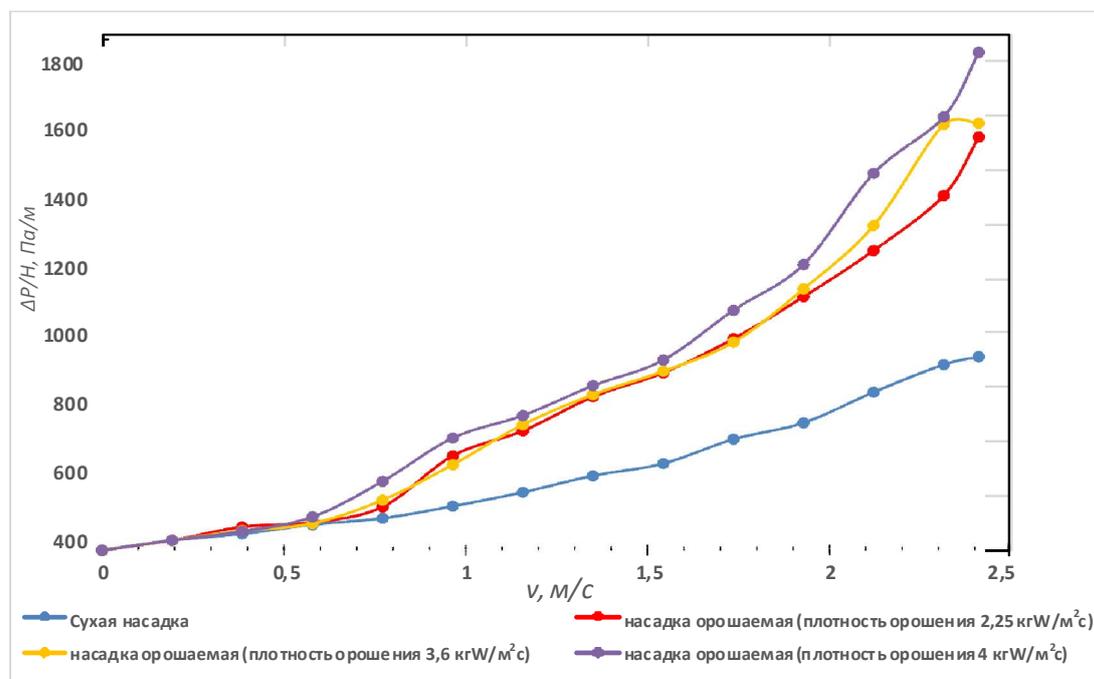


Рис. 3. График зависимости гидравлического сопротивления от фиктивной скорости при различных плотностях орошения

Как следует из данных, представленных на графике, исследуемый насадочный блок обладает достаточно низким гидравлическим сопротивлением, по сравнению с кольцами Рашига, расположенными в навал. Это свидетельствует о довольно высокой проницаемости исследуемого насадочного блока. Далее в экспериментах добавили орошение

водой, для исследования гидравлического сопротивления смоченной насадки. Эксперимент проводился с плотностью орошения $4 \text{ кгW/м}^2\text{с}$.

Сравнение зависимости градиента гидравлического сопротивления от фиктивной скорости различных насадочных орошаемых блоков демонстрирует рисунок 5.

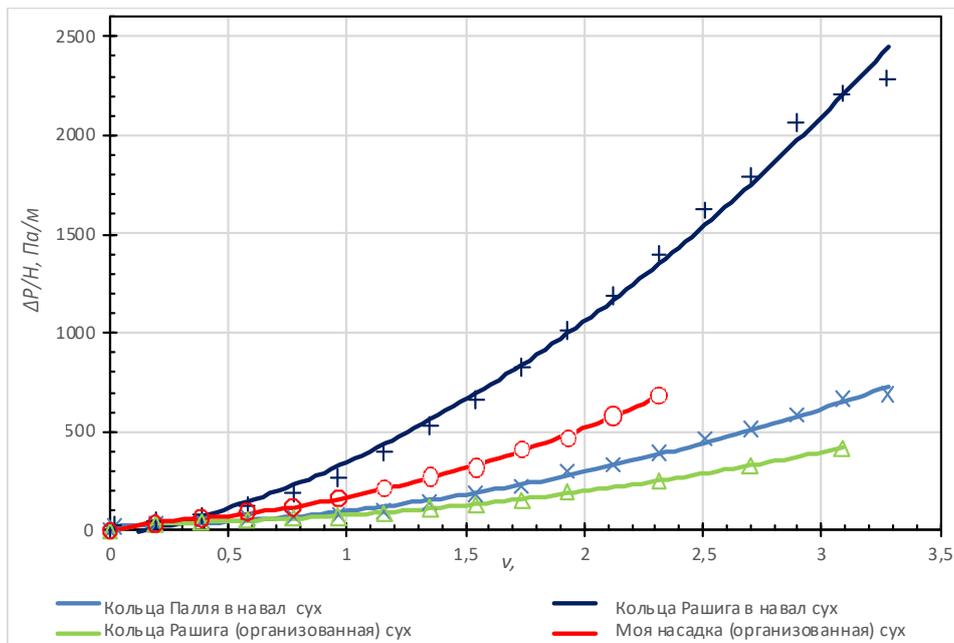


Рис. 4. Сравнение зависимости гидравлического сопротивления от фиктивной скорости различных сухих насадочных блоков

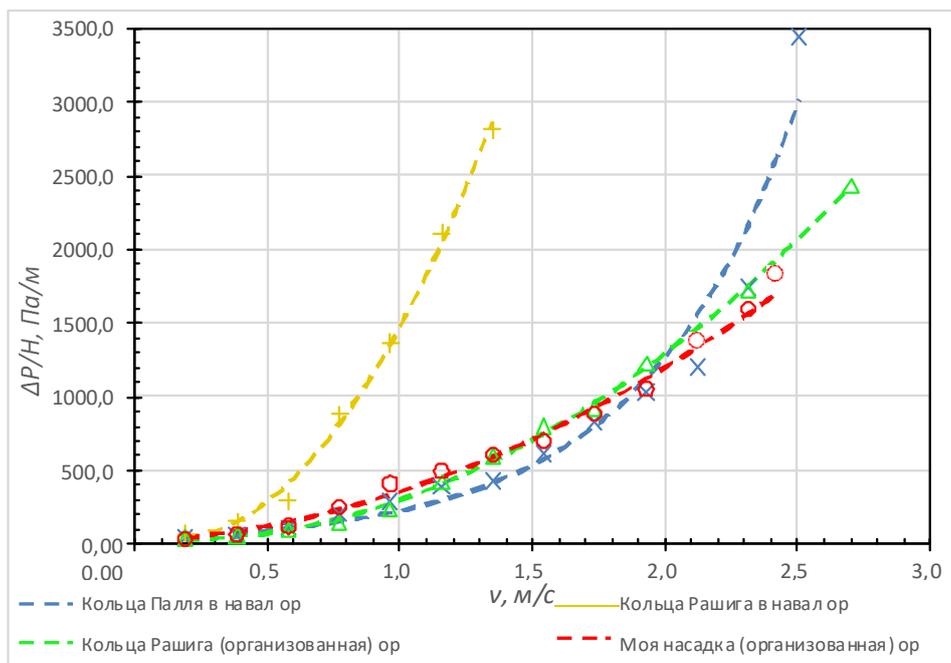


Рис. 5. Сравнение зависимости градиента гидравлического сопротивления от фиктивной скорости различных насадочных орошаемых блоков

Исходя из результатов проведенной серии экспериментов, установлено, что исследуемая насадка в отличие от других обладает низким гидравлическим сопротивлением и высокой порозностью. Данные рисунка 6 демонстрируют зависимость гидравлического сопротивления от фиктивной скорости фильтрации для различных насадочных устройств.

В ходе исследования насадочного блока была определена его удерживающая способность, а также был произведен сравнительный

анализ его удерживающей способности с уже существующими насадками [5–13] (рис. 7).

Основываясь на полученные данные, можно сделать вывод, что исследуемая насадка действительно обладает высокой проницаемостью, что подтверждается низкой удерживающей способностью, вследствие чего насадочный элемент обладает низким коэффициентом сопротивления.

Проведя анализ экспериментально полученных зависимостей, был определен диапазон коэффициентов сопротивления исследуе-

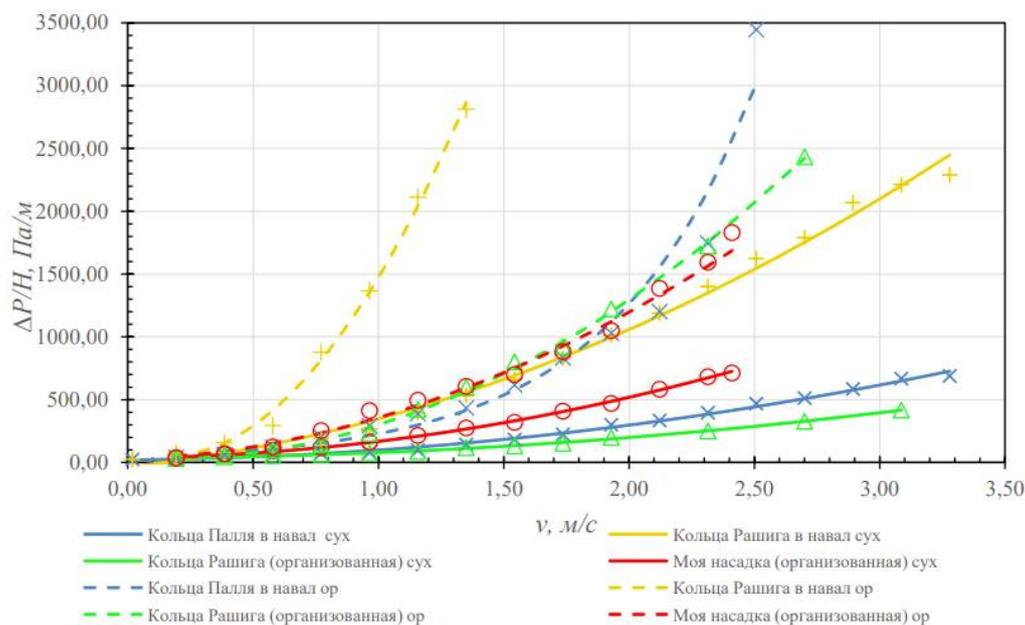


Рис. 6. Сравнение зависимости градиента гидравлического сопротивления от фиктивной скорости насадочных сухих и орошаемых блоков

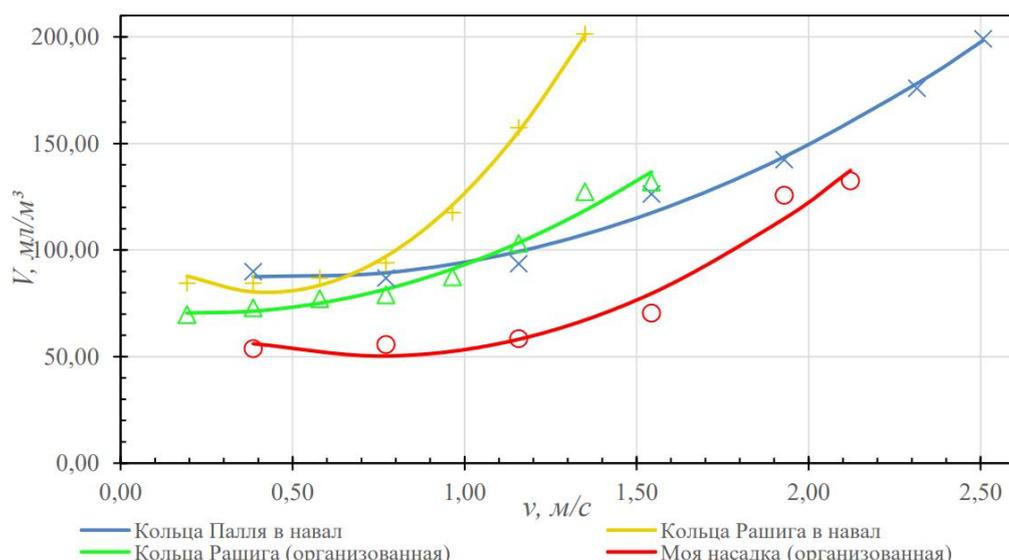


Рис. 7. Сравнение удерживаемой способности различных насадочных блоков

мого насадочного блока. Сравнив ранее исследуемые насадочные блоки с полученным диапазоном коэффициентов сопротивления, можно сделать вывод, что насадка является многофункциональной, и может использоваться как в процессах абсорбции, так и в процессах испарительного охлаждения оборотной воды. Данные по сравнению коэффициентов сопротивления насадочных блоков представлены на рисунке 8.

Испытания проводились на разработанной насадке из металлической стружки с разными плотностями орошения, а также на неорошаемой аналогичной насадке. Температура воды +9 °С, температура воздуха +27,1 °С, высота слоя насадки 0,4 м, плотность ороше-

ния 4 кгW/м²с. Результаты эксперимента указаны в таблице 2.

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в таблице 3.

Степенное уравнение

$$y = A + Bx,$$

где $A = -1,48; B = 1,73$.

Для описания зависимости давления от скорости воспроизводимость данных параллельных опытов обеспечивается, так как все параметры выполняются при этом $r > 0,98$.

На рисунке 9 представлен график зависимости градиента давления от фиктивной скорости. Для наглядности также проводилось

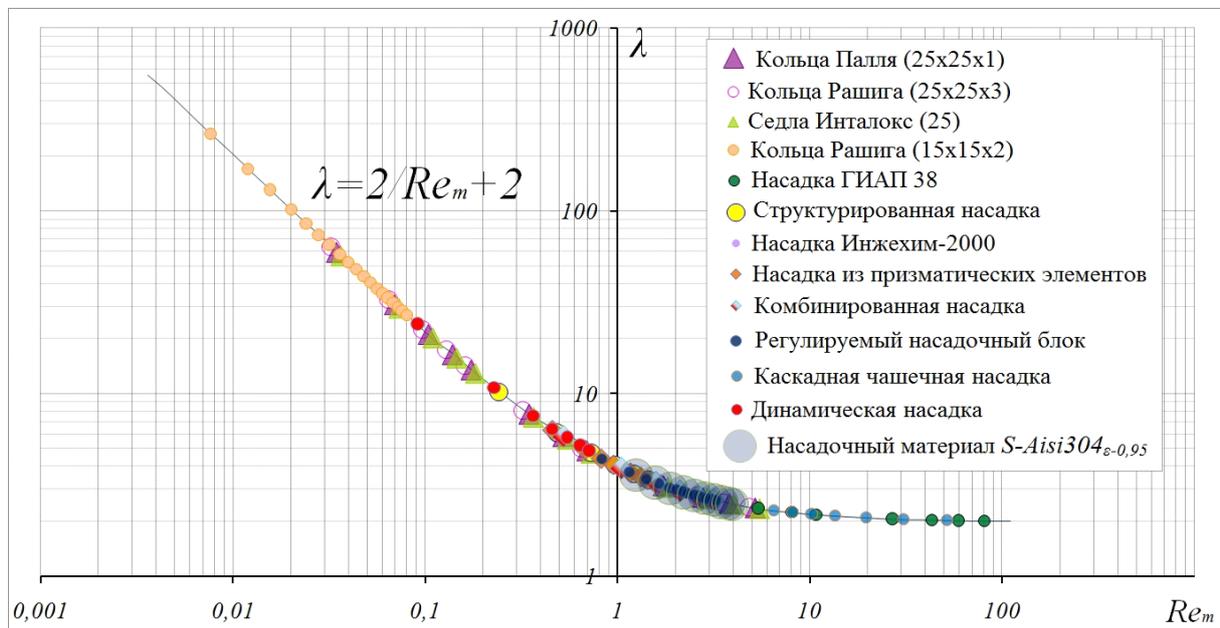


Рис. 8. Критериальная зависимость исследуемой насадки в сравнении с существующими насадочными элементами

Таблица 2

Результаты эксперимента

Q, м ³ /ч	Данные эксперимента			v, м/с	среднее ΔP/H, Па/м
	ΔP, Па				
	1	2	3		
10	14,71	14,71	14,71	0,19	36,77
20	29,42	24,5166	29,42	0,39	69,46
30	47,0719	50,9946	49,0333	0,58	122,58
40	68,6466	102,97	132,39	0,77	253,34
50	170,636	162,79	161,81	0,96	412,70
60	229,476	181,423	183,384	1,16	495,24
70	255,954	240,263	229,476	1,35	604,74
80	284,393	284,393	269,683	1,54	698,72
90	372,653	357,943	327,542	1,74	881,78
100	416,783	411,879	431,493	1,93	1050,13
110	549,172	558,979	554,076	2,12	1385,19
120	666,852	621,742	622,722	2,31	1592,76

сравнение с другими насадками, представленное в графиках ранее (корреляционный анализ также проводился и для тех параметров).

В таблице 4 приведены рассчитанные значения скорости и градиента давления в проведенных экспериментах.

Ниже на рисунке 10 представлено фото экспериментальный насадочного блока.

Заключение

В ходе проведения корреляционного анализа было установлено, что значимость обоих коэффициентов а и б в линеаризованном

уравнении $y = A + Bx$, где $y = \ln \Delta P/H$; $A = \ln k$; $B = n$; $\ln v = x$; корреляционная связь между параметрами и аргументами высокая; зависимость между градиентом давления и фиктивной скоростью можно описать алгебраическим уравнением $\ln \Delta P/H = e^a * v^b$, где $\ln \Delta P/H$ – градиент давления; v – скорость газа, м/с.

По результатам проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что характеристики исследуемой насадки для селективной очистки газовых выбросов в промышленных адсорберах полностью соответствуют требованиям для проведения процесса абсорбции.

Таблица 3

Результаты обработки экспериментальных данных методом корреляционного анализа

№	Наименование параметра	Расчетное значение	Табличное значение	Вывод
1	Воспроизводимость экспериментальных данных в трех параллельных опытах по критерию Кохрена	0,773	0,347	Воспроизводимость выполняется
2	Адекватность математической модели по критерию Фишера	5,33	3,60	Адекватность подтверждается
3	Значимость коэффициентов математической модели по критерию Стьюдента			
	а) Для коэффициента «а»	1463	2,19	Коэффициенты значимы
	б) Для коэффициента «б»	1674	2,19	
4	Коэффициент корреляции r	0,99	–	Корреляционная связь высокая

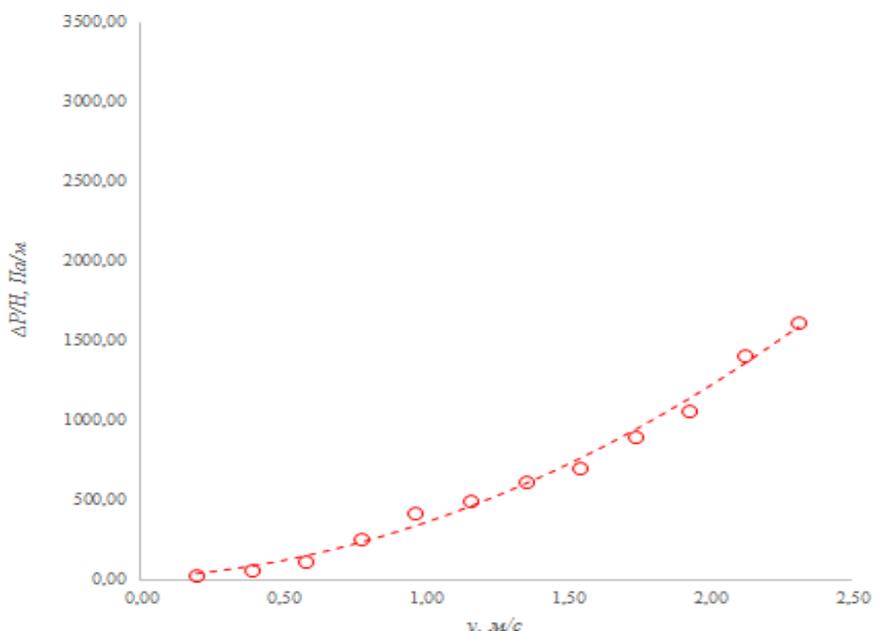


Рис. 9. Зависимость градиента давления от скорости в эксперименте

Таблица 4

Рассчитанные значения скорости и градиента давления в опытах

v, м/с	0,19	0,39	0,58	0,77	0,96	1,16	1,35	1,54	1,74	1,93	2,12	2,31
ΔP/H, Па/м	36,7	69,4	122,5	253,3	412,7	495,24	604,74	698,72	881,78	1050,13	1385,19	1592,76



Рис. 10. Экспериментальный блок оросителя (фото автора)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты / И. А. Александров. – М. : Химия, 1971. – 296 с.

2. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. / под общ. ред. М.Н. Краснянского. – Тамбов : Издат. центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/308051439>

3. Иванцова, Е. А. Увеличение производительности массообменных процессов для избирательного поглощения газовых выбросов в промышленных абсорберах / Е. А. Иванцова, А. О. Бодров // Современная биология и биотехнология: проблемы, тенденции, перспективы : сб. докл. и тез. Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2022. – С. 81–85.

4. Меренцов, Н. А. Моделирование тепло-массообменных насадочных устройств с развитыми капельными режимами течения : монография / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов. – Волгоград : ВолгГТУ, 2019. – 140 с.

5. Патент № 117317 Рос. Федерация, МПК В01J19/32. Насадка для массообменного аппарата : № 2012104222/05 : заявл. 07.02.2018 : опубл. 28.05.2019 / А. Б. Голованчиков, С. Б. Воротнева, Н. А. Меренцов, Н. А. Дулькина, О. А. Залипаева, А. П. Шамянова ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО

«Волгоградский государственный технический университет». – 12 с.

6. Патент № 154394 Рос. Федерация, МПК В01J19/32. Насадка для массообменного аппарата : № 2012104222/05 : заявл. 17.04.2012 : опубл. 28.05.2012 / А. Б. Голованчиков, С. Б. Воротнева, А. В. Маринин, Н. А. Меренцов, Т. Б. Агеева, А. А. Коберник ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – 6 с.

7. Патент № 135532 Рос. Федерация, МПК В01D53/18. Скруббер с подвижной насадкой : № 2013122139/05 : заявл. 14.05.2013 : опубл. 20.12.2013 / А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, Н. А. Дулькина, Я. А. Орлянкина, С. А. Фоменков, М. Г. Рязанов ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – 9 с.

8. Патент № 142483 Рос. Федерация, МПК В01J19/32. Элемент насадки для массообменного аппарата : № 2014103646/05 : заявл. 02.03.2014 : опубл. 27.06.2014 / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков, В. М. Шаповалов, М. Г. Рязанов, И. А. Хижняков ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – 6 с.

9. Патент № 129450 Рос. Федерация, МПК F 28 S 25/08. Тепломассообменная насадка градирен : № 2018141575 : заявл. 27.11.2018 : опубл. 28.05.2019 / А. Б. Голованчиков, Н. О. Сиволобова, Н. А. Меренцов, Н. А. Дулькина, В. В. Шишлянников, Н. И. Доро-

феева; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – 12 с.

10. Патент № 2506125 Рос. Федерация, МПК B01J 19/32. Регулярная насадка для тепло- и массообменных аппаратов из горизонтальных элементов : № 2012140978/05 : заявл. 25.09.2012 : опубл. 10.02.14 / А. Д. Бальчугов, М. Ш. Залилеев, А. В. Будеников, И. Е. Кузора ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Ангарская государственная техническая академия». – 8 с.

11. Патент № 2477433 Рос. Федерация, МПК F28F 25/08. Ороситель градирни : № 2011142411/06 : заявл. 20.10.2011 : опубл. 10.03.2013 / О. С. Кочетов, М. О. Стареева ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО О. С. Кочетов. – 6 с.

12. Патент № 2452560 Рос. Федерация, МПК B01J 19/32. Регулярная насадка для тепло- и массообменных аппаратов : № 2011107769/05 : заявл. 28.02.2011 : опубл. 10.06.2012 / А. Д. Бальчугов, А. В. Будеников, И. Е. Кузора ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО А. Д. Бальчугов. – 10 с.

13. Патент № 2 522 135 Рос. Федерация, МПК F28C 1/00. Вентиляторная градирня : № 2012157032/06 : заявл. 26.12.2012 : опубл. 10.07.2014 / В. Л. Островский, Н. Л. Думанский, Л. Хмел ; заявитель и патентообладатель В. Л. Островский. – 1 с.

14. Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли / Н. А. Меренцов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2019. – № 4 (77). – С. 182–195.

15. Регулярная блочная сетчатая насадка для локальных систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Н. А. Меренцов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – Вып. 50 (69). – С. 80–87.

16. Экспериментальное исследование модульной теплообменной насадки градирен / Н. А. Меренцов [и др.] // Вестник Казанского гос. технол. ун-та. – 2017. – Т. 20, № 24. – С. 141–144.

17. Mitin, A.K. Geometric Characteristics of Packings and Hydrodynamics of Packed Biotrickling Filters for Air-Gas Purification / A.K. Mitin, N.E. Nikolaikina, S. Pushnov, N.A. Zagustina // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – Т. 52, №. 1. – С. 47–52.

REFERENCES

1. Aleksandrov I.A. *Rektifikacionnye i absorbcionnye apparaty* [Rectification and Absorption Devices]. Moscow, Himiya Publ., 1971. 296 p.

2. Krasnyansky M.N., ed. *Virtyalnoe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlenniy dizain: materialy 5th Mejdunar. nauch.-prakt. konf. V 3 t.* [Virtual Modeling, Prototyping and Industrial Design. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. In 3 Vols.]. Tambov, Izdat. centr FGBOY VO «TGTY», 2018. URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/308051439>

3. Ivantsova E.A., Bodrov A.O. *Yvelichenie proizvoditelnosti massomennyh processov dly izbiratel'nogo pogloshcheniya gazovih vybrosov v promyshlennyh absorberah* [Increasing the Productivity of Mass Exchange Processes for Selective Absorption of Gas Emissions in Industrial Absorbers] *Sovremennaya biologiya i biotekhnologiya: problemy, tendencii, perspektivy: sb. dokl. i tez. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Modern Biology and Biotechnology: Problems, Trends, Prospects: Collection of Reports and Abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2022, pp. 81-85

4. Merentsov N.A., Golovanchikov A.B., Balashov V.A. *Modelirovanie teplomassoobmennyyh nasadochnyyh stroystv s razvitymi kapelnymi rejimami techeniya: monografiya* [Modeling of Heat and Mass Transfer Nozzle Devices with Advanced Drip Flow Modes: Monograph]. Volgograd, VolgGTU, 2019. 140 p.

5. Golovanchikov A.B., Vorotneva S.B., Meretsov N.A., Dulkina N.A., Zalipaeva O.A., Shamyanova A.P. *Patent № 117317 Ros. Federaciya, MPK V 01 J 19/32. Nasadka dlya massoobmennogo apparata* [Patent No. 117317 Russian Federation, IPC B 01 J 19/32. Nozzle for Mass Transfer Device], no. 2012104222/05, yayavl. 02.07.18, opubl. 05.28.19. 12 p.

6. Golovanchikov A.B., Vorotneva S.B., Marinin A.V., Meretsov N.A., Ageeva T.B., Kobernik A.A. *Patent № 154394 Ros. Federaciya, MPK B01J19/32. Nasadka dlya massoobmennogo apparata* [Patent No. 154394 Russian Federation, IPC B01J19/32. Nozzle for Mass Transfer Device], no. 2012104222/05, yayavl. 04.17.12, opubl. 05.28.12. 6 p.

7. Golovanchikov A.B., Meretsov N.A., Dulkina N.A., Orlyaikina Y.A., Fomenkov S.A., Ryazanov M.G. *Patent № 135532 Ros. Federaciya, MPK B01D53/18 Skrybber s podvijnoy nasadkoy* [Patent No. 135532 Russian Federation, IPC B01D53/18. Scrubber with Movable Nozzle], no. 2013122139/05, yayavl. 04.17.12, opubl. 05.28.12. 9 p.

8. Meretsov N.A., Balashov V.A., Golovanchikov A.B., Shamyanova A.P., Ryazanov M.G., Hijnyakov I.A. *Patent № 142483 Ros. Federaciya MPK B01J19/32. Element nasadki dlya massoobmennogo apparata* [Patent No. 142483 Russian Federation, IPC B01J19/32. The Nozzle Element for the Mass Transfer Device], no. 2014103646/05, yayavl. 03.02.14, opubl. 06.27.14. 6 p.

9. Golovanchikov A.B., Sivolobova N.O., Meretsov N.A., Dulkina N.A., Shishlyakov V.V., Darofeeva N.I. *Patent № 129450 Ros. Federaciya MPK F 28 S 25/08. Teplomassoobmennaya nasadka gradiren* [Patent No. 129450 Russian Federation, IPC F 28 S 25/08. Heat and Mass Transfer Nozzle of Cooling Towers], no. 2018141575, zayavl. 11.27.18, opubl. 05.28.19. 12 p.

10. Balchugov A.D., Zalileev M.S., Budenikov A.V., Kuzora I.E. *Patent № 2506125 Ros. Federaciya MPK B01J 19/32. Reguljarnaya nasadka dlya teplo- i massoobmennyyh apparatov iz gorizontalnyh elementov* [Patent No. 2506125 Russian Federation, IPC B01J 19/32. Regular Nozzle for Heat and Mass Exchange Devices Made of Horizontal Elements], no. 2012140978/05, zayavl. 09.25.12, opubl. 02.10.14. 8 p.

11. Kochetov O.S., Stareeva M.O. *Patent № 2477433 Ros. Federaciya MPK F28F 25/08/Orositel gradirni* [Patent No. 2477433 Russian Federation, IPC F28F 25/08. Cooling Tower Sprinkler], no. 2011142411/06, zayavl. 10.20.11, opubl. 03.10.13. 6 p.

12. Balchugov A.D., Budenikov A.V., Kuzora I.E. *Patent № 2452560 Ros. Federaciya MPK B01J 19/32. Reguljarnaya nasadka dlya teplo- i massoobmennyyh apparatov* [Patent No. 2452560 Russian Federation, IPC B01J 19/32. Regular Nozzle for Heat and Mass Exchange Devices], no. 2011107769/05, zayavl. 02.28.11, opubl. 06.10.12. 10 p.

13. Ostrovskiy V.L., Dumanskiy N.L., Hmel L. *Patent № 2 522 135 Ros. Federaciya MPK F28C 1/00. Ventilyarnaya gradinya* [Patent No. 2 522 135 Russian Federation, IPC F28C 1/00. Fan Cooling Tower], no. 2012157032/06, zayavl. 12.26.12, opubl. 07.10.14. 1 p.

14. Merentsov N.A., Persidskiy A.V., Lebedev V.V., Karaseva A.B. *Perspektivy ispolzovaniya promyshlennyh othodov mashinostroitelnyh predpriyatiy dlya resheniya ekologicheskikh problem stroitelnoy otrasly* [Prospects for the Use of Industrial Waste from Machine-Building Enterprises to Solve Environmental Problems in the Construction Industry]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture], 2019, no. 4 (77), pp. 182-195.

15. Merentsov N.A., Lebedev V.N., Hijnyakov I.A., Balashov V.A. *Golovanchiov A.B., Reguljarnaya blochnaya setchataya nasadka dlya lokalnyh sistem oborotnogo vodosnabzheniya promyshlennyh predpriyatiy* [Regular Block Mesh Nozzle for Local Recycling Water Supply Systems of Industrial Enterprises]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering], 2017, iss. 50 (69), pp. 80-87.

16. Merentsov N.A., Nefedieva E.E., Lebedev V.N., Circunova E.A., Golovanchikov A.B., Balashov V.A. *Eksperimentalnoe issledovanie modylnoy teplomassoobmennoy nasadki gradiren* [Experimental Study of the Modular Heat and Mass Transfer Nozzle of Cooling Towers]. *Vestnik Kazanskogo gos. tehnol. un-ta* [Bulletin of the Kazan State Technical University], 2017, vol. 20, no. 24, pp. 141-144.

17. Mitin A.K., Nikolaikina N.E., Pushnov S., Zagustina N.A. *Geometric Characteristics of Packings and Hydrodynamics of Packed Biotrickling Filters for Air-Gas Purification*. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2016, vol. 52, no. 1, pp. 47-52.

Information About the Authors

Aleksey O. Bodrov, Postgraduate Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, aleksey.bodrov.97@mail.ru

Elena A. Ivantsova, Doctor of Sciences (Agriculture), Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, ivatsova@volsu.ru

Информация об авторах

Алексей Олегович Бодров, аспирант, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, aleksey.bodrov.97@mail.ru

Елена Анатольевна Иванцова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор Института естественных наук, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, ivatsova@volsu.ru