

УДК 66.045.53

**Н. А. Меренцов^а, А. Б. Голованчиков^а, В. Н. Лебедев^б,
Д. А. Тезиков^в, В. В. Грошев^а, Д. А. Ускова^а**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг Волгоград-НИПИморнефть»*

^в *Волгоградская академия МВД России*

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ НАСАДОЧНЫЕ КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АППАРАТОВ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ

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

В работе рассмотрены перспективы использования энерго- и ресурсосберегающих насадочных материалов на базе отходов металлообработки или полимерных отходов в виде скомпонованных контактных блоков аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды. Приведены классифицирующие методики обработки экспериментальных данных в области гидрогазодинамики, позволяющие дать заключение о пригодности исследуемых насадочных материалов в качестве контактных блоков тепло- и массообменных аппаратов различных промышленных назначений, а также результаты математического моделирования и расчета основных технологических и геометрических параметров аппарата испарительного охлаждения промышленной оборотной воды с классифицированным насадочным материалом S-BT5_{в-0,85}.

Ключевые слова: энерго- и ресурсосбережение, гидродинамика, газодинамика, тепло- и массообмен, насадочный материал, контактный блок, испарительное охлаждение, оборотная вода, градирни, системы водоснабжения.

Аппараты испарительного охлаждения промышленной оборотной воды находят широкое применение во многих отраслях промышленности: химической, нефтехимической, нефтегазоперерабатывающей, металлургической, строительной, пищевой и смежных отраслях, а также неразрывно связанных с замкнутыми оборотными циклами локальных систем оборотного водоснабжения энергетической и атомной промышленности [1—5]. Активно продолжается работа по исследованию протекающих тепло- и массообменных процессов [6—16], совершенствованию конструкций аппаратов и насадочных контактных блоков испарительного охлаждения [17—23].

Сформулируем основные требования, которым должны соответствовать насадочные материалы (насадочные блоки) аппаратов испарительного охлаждения:

выбор оптимальных режимов течения жидкости (оборотной воды) через насадочный блок: пленочные, капельные, капельно-пленочные, струйные и их комбинации;

обеспечение теплофизических характеристик, а именно коэффициентов тепло- и массоотдачи, позволяющих обеспечить требуемую глубину охлаждения оборотной воды и высокие показатели теплового КПД насадочного блока;

высокая проницаемость, обеспечивающая умеренные энергетические затраты аппаратов испарительного охлаждения, работающих в условиях принудительной конвекции, и позволяющая насадочным блокам свободно работать в условиях естественной тяги;

высокие показатели удерживающей способности насадочного блока по жидкости (обеспечивающей требуемое время пребывания жидкости в контактных теплообменных блоках) и интенсивный воздухообмен в условиях развитых фильтрационных течений воздушного потока через насадочный блок, интенсивно омывающего теплообменные поверхности капель и пленок, развиваемые и активно обновляемые в насадочном блоке;

минимизация уноса капельной влаги из аппарата;

достаточная химическая стойкость и механическая прочность скомпонованных насадочных блоков аппаратов;

минимальный удельный вес, простота, низкая стоимость и др.

Большинство указанных требований при определенных условиях могут обеспечить не только специализированные насадочные блоки аппаратов испарительного охлаждения, широко применяемые в промышленных отраслях [1—3], но и насадочные материалы на основе отходов металлообработки и полимерных материалов различных производств [24—31]. Применяя предлагаемые научные классифицирующие методики, можно дать заключение о пригодности исследуемых насадочных материалов (на основе отходов металлообработки и полимерных материалов) в качестве насадочных блоков массообменных аппаратов, что может дать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект. Для примера рассмотрим классификацию насадочного материала S-BT5_{ε-0,85} (рис. 1) при помощи разработанных авторами методик, а также результаты моделирования и расчета аппарата испарительного охлаждения оборотной воды с насадочным блоком на его основе.

Насадочный материал S-BT5_{ε-0,85} — металлическая стружка, отходы металлообработки марки стали BT5, получен в ходе механической обработки цилиндров высокого давления фильтрационных установок, а также в производстве установок для создания рекомбинированной пробы нефти, газа, газоконденсата. Данный титановый сплав обладает высокой коррозионной стойкостью, в аббревиатуре S — shavings, ε — свободный объем (порозность) насадочного материала.



Рис. 1. Экспериментальный модуль с исследуемым насадочным материалом S-BT5_{ε-0,85}

Интерес к предоставленному на испытания насадочному материалу был вызван несколькими причинами: высокая химическая и термическая стойкость, стабильность структуры витков стружки, большой объем предоставленного материала, малый удельный вес скомпонованных блоков насадочного материала и др.

Базовой классифицирующей методикой, способной распознать насадочные материалы, соответствующие требованиям определенным тепло- и массообменным процессам и аппаратам, является зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от модифицированного числа Рейнольдса [32—35]:

$$\lambda = f(Re_m). \quad (1)$$

Данная методика позволяет обработать экспериментальные данные в области гидрогазодинамики и обобщить их при помощи модифицированной критериальной зависимости $\lambda = f(Re_m)$. Она ориентирована на классифицирующий анализ фильтрационных кривых течений через различные среды и, применимо к процессу испарительного охлаждения оборотной воды, позволяет классифицировать и распознать фильтрационные течения с пренебрежимо малыми вязкостными составляющими структур течений и развитыми инерционными, что в свою очередь сопровождается интенсивным вихреобразованием газовой фазы в насадочных блоках и интенсивным омыванием теплообменных поверхностей капель и пленок жидкости потоком сплошной газовой фазы.

Согласно данной методике насадочные материалы, соответствующие требованиям процесса испарительного охлаждения, займут определенный режимный диапазон зависимости $\lambda = f(Re_m)$, представленной графически на рис. 2.

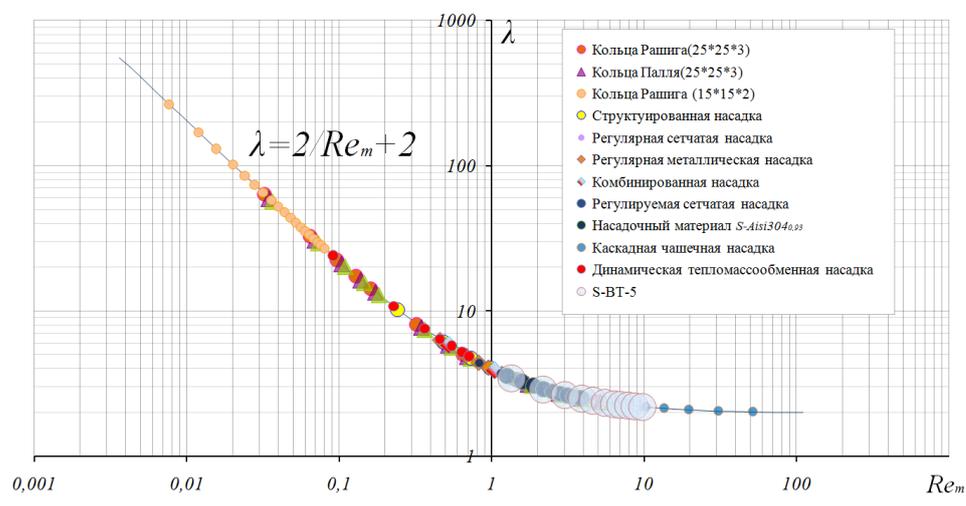


Рис. 2. Классифицирующая критериальная зависимость $\lambda = f(Re_m)$ для обработки экспериментальных данных фильтрационных течений через насадочные блоки теплообменных аппаратов [32—35].

Результаты обработки данных классифицирующей зависимости $\lambda = f(\text{Re}_m)$ при анализе фильтрационных кривых приведены в таблице.

Эта методика позволяет засвидетельствовать стабильные режимы газораспределения в насадочных блоках и исключить применение насадочных материалов, формирующих каналы беспрепятственного проскока газовой фазы через насадочный блок, что негативно сказывается на протекающих тепло- и массообменных процессах. Рассмотрим экспериментальные данные полученных профилей скорости воздушного потока в сечениях насадочного блока S-BT5 $_{\varepsilon=0,85}$, приведенные на рис. 3.

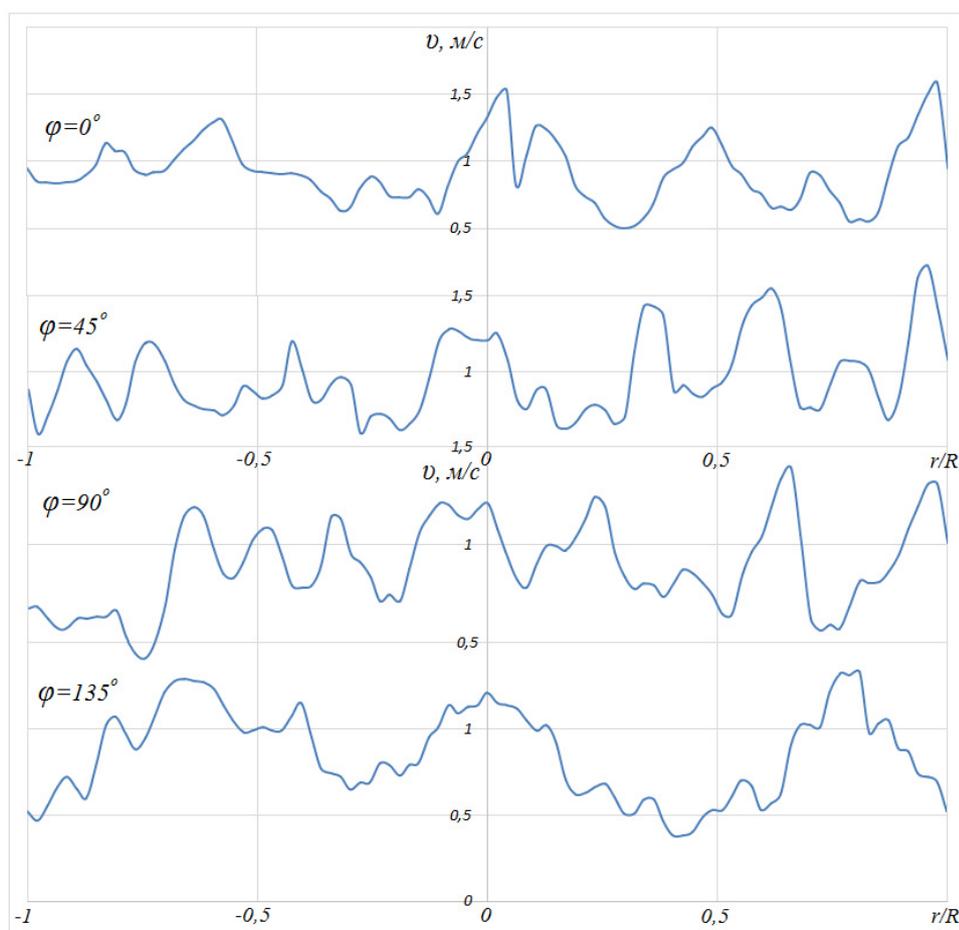


Рис. 3. Экспериментальные данные полей скоростей воздушного потока на выходе из насадочного блока S-BT5 $_{\varepsilon=0,85}$.

Дисперсия, или центральный момент второго порядка, для обработки экспериментальных данных профиля скорости газовой фазы через насадочный блок определяется в виде [34]:

$$\sigma^2 = \frac{2v_{cp}\Delta r}{R^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i}{v_i} \right) - 1, \quad (2)$$

где v_i и v_{cp} — соответственно скорость потока на текущем радиусе r и средняя скорость, м/с; r и R — соответственно радиус линии тока внутри объекта и радиус насадочного блока (массообменного аппарата), м.

Рассчитав дисперсию, получаем возможность определить число Пекле продольной диффузии Pe_l и классифицировать структуру потока по газовой фазе через насадочный блок:

$$\sigma^2 = \frac{2}{Pe_l} + \frac{3}{Pe_l^2}, \quad (3)$$

где Pe_l — критерий Пекле продольной диффузии по газовой фазе для полукрытого сосуда.

Результаты обработки экспериментальных данных полей скоростей потока газовой фазы через исследуемый насадочный блок приведены в таблице.

После проведения классифицирующих методик в области гидрогазодинамики, убедившись в работоспособности исследуемых насадочных материалов в качестве контактных блоков массообменных аппаратов, в частности тепло-массообменных аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды, следует провести исследования тепло-массообменных (теплофизических) характеристик исследуемых насадочных блоков. На основе полученных данных по интенсивности протекающих в контактных блоках тепло- и массообменных процессов, коэффициентов тепло- и массоотдачи, а также данных о среднем времени пребывания охлаждаемой оборотной воды в аппарате можно проводить моделирование и расчет основных геометрических характеристик аппаратов испарительного охлаждения, обеспечивающих требуемую производительность и глубину охлаждения промышленной оборотной воды согласно методикам, приведенным в работах [35—37]. Основные технологические и геометрические параметры аппарата испарительного охлаждения с использованием насадочных блоков на базе S-BT5_{ε-0,85} приведены в таблице. Пространственная схема рассчитанного тепло-массообменного аппарата испарительного охлаждения представлена на рис. 4.

Исходные, справочные данные, основные расчетные технологические и геометрические параметры аппарата испарительного охлаждения промышленной оборотной воды с насадочными тепло-массообменными блоками на основе материала S-BT5_{ε-0,85}

	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
Исходные данные				
1	Производительность по охлаждаемой воде	м ³ /ч	q	80
2	Начальная температура воды	°С	$t_{вн}$	42
3	Конечная температура воды	°С	$t_{вк}$	23
4	Начальная температура воздуха	°С	$t_{вн}$	20
5	Конечная температура воздуха	°С	$t_{вк}$	34
6	Относительная влажность воздуха на входе	—	φ_n	0,7
Справочные данные				
1	Средняя теплоемкость воды	кДж/кг·К	c_w	4,18

1	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
2	3	4	5	
2	Средняя плотность воды	кг/м ³	ρ_w	992
3	Удельная теплота парообразования при 0 °С	кДж/кг	$r_{п}$	2493
4	Теплоемкость пара	кДж/кг·К	$c_{п}$	1,97
5	Теплоемкость сухого воздуха	кДж/кг·К	$c_{в}$	1,01
6	Давление насыщенных паров при начальной температуре воздуха	кПа	p_n^*	2,3388
7	Давление насыщенных паров при конечной температуре воздуха	кПа	p_k^*	5,322
8	Удельная производительность по воде	кг·W/ м ² ·с	$G_{вн}$	1,6
9	Удельная производительность по воздуху	кг·B/ м ² ·с	$G_{вн}$	1,5
10	Коэффициент теплопередачи (экспериментальные данные)	Вт/м ² ·К	K_t	159
11	Коэффициент массопередачи (экспериментальные данные)	кг·W/ м ² ·с·× ×·(кгW/кгB)	K_m	0,041
Расчетные значения классифицирующей критериальной зависимости $\lambda = f(Re_m)$				
1	Первый характерный линейный размер для дискретной модели фильтрации	м	l_{x1}	$2,976 \cdot 10^{-3}$
2	Второй характерный линейный размер для дискретной модели фильтрации	м ²	l_{x2}	$10,98 \cdot 10^{-5}$
3	Вязкостный коэффициент сопротивления насадочного блока, характеризующий его структуру с учетом сил вязкого трения	м ⁻²	α	$3,057 \cdot 10^6$
4	Инерционный коэффициент сопротивления насадочного блока, характеризующий его структуру с учетом сил инерции потока	м ⁻¹	β	336,04
5	Модифицированное число Рейнольдса	—	Re_m	3,0257
				3,9184
				4,5978
				5,5458
				6,3595
				7,031
				7,8447
6	Коэффициент гидравлического сопротивления	—	λ	8,6584
				9,7328
				2,661004
				2,510412
				2,434991
				2,360633
				2,31449
				2,284455
2,254949				
2,23099				
2,205491				
Расчетные значения классифицирующей методики определения параметров структуры потока безиндикаторным методом по профилю скорости				
1	Диапазон радиальных дисперсий при анализе структуры потока по профилю скорости	—	σ^2	0,08...0,13

	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
2	Диапазон чисел Пекле продольной диффузии при обработке радиальных данных	—	Pe_l	16,79...26,45
3	Диапазон диаметральных дисперсий при анализе структуры потока по профилю скорости	—	σ^2	0,048...0,062
4	Диапазон чисел Пекле продольной диффузии при обработке диаметральных данных	—	Pe_l	33,49...43,40
5	Дисперсия при обработке данных потока по концентрическому окружному шагу	—	σ^2	0,007
6	Число Пекле продольной диффузии при обработке данных по концентрическому окружному шагу	—	Pe_l	282,28
Расчетные параметры				
1	Начальное влагосодержание воздуха	кг·W/кгB	x_n	$1,059 \cdot 10^{-2}$
2	Начальная энтальпия воздуха	кДж/кгB	i_n	47,03
3	Конечное влагосодержание воздуха	кг·W/кгB	x_k	$3,487 \cdot 10^{-2}$
4	Конечная энтальпия воздуха	кДж/кгB	i_k	123,62
5	Удельная производительность по воде на выходе из аппарата	кг·W/м ² ·с	G_{wk}	1,562
6	Удельное количество испаряемой воды в воздух	кг·W/м ² ·с	W	$3,749 \cdot 10^{-2}$
7	Средняя развиваемая поверхность потока жидкости	м ² /м ² ·с	F_{kc}	3,002
8	Скорость воздуха	м/с	v_b	1,107
9	Диаметр аппарата	м	D_a	4,2
	Ширина грани аппарата испарительного охлаждения (в прямоугольном исполнении)	м	$l_{гр}$	3,7
0	Площадь поперечного сечения аппарата	м ²	S_a	13,84
11	Средняя теплоемкость влажного воздуха	кДж/кг·K	c_{bc}	1,054
12	Средняя движущая сила процесса теплопередачи	°C	Δt_c	6,382
13	Число единиц переноса по влагосодержанию паров в воздухе	—	ЧЕП _x	2,224
14	Средняя движущая сила массообменного процесса испарения воды в воздух	кг·W/кгB	Δx_c	$1,123 \cdot 10^{-2}$
15	Необходимая расчетная поверхность капель и пленок, обеспечивающая процессы тепло- и массопередачи	м ²	F_p	4513,7
16	Среднее время пребывания охлаждаемой оборотной воды в аппарате	с	$\tau_{гр}$	34,74
17	Высота насадочного блока аппарата испарительного охлаждения	м	H_n	1,737

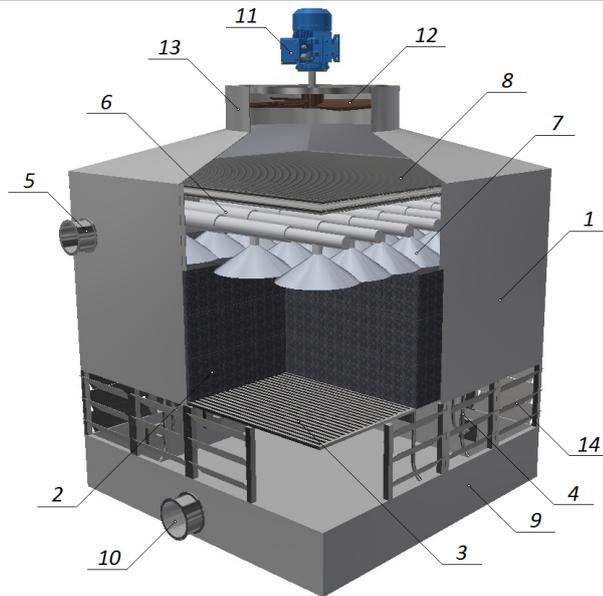


Рис. 4. Аппарат испарительного охлаждения промышленной оборотной воды с насадочными теплообменными блоками на основе исследуемого материала S-BT5_{ε-0,85}: 1 — корпус аппарата; 2 — теплообменный насадочный блок испарительного охлаждения; 3 — опорная решетка насадочного блока; 4 — опорные кронштейны насадочного блока; 5 — входной патрубок системы орошения (водораспределения); 6 — система орошения насадочного блока; 7 — факелы распыла; 8 — каплеотбойники (каплеуловитель); 9 — водосборный коллектор; 10 — патрубок системы водоотведения в оборотный цикл; 11 — электродвигатель вентилятора; 12 — лопасти вентилятора; 13 — кожух вентилятора; 14 — воздухоходные окна

Заклучение

Результаты обработки экспериментальных данных при помощи классифицирующих методик $\lambda = f(Re_m)$ и определения параметров структуры потока безиндикаторным методом по профилю скорости свидетельствуют о высокой проницаемости изучаемого насадочного блока с развитыми инерционными составляющими структур фильтрационных течений и стабильными профилями скорости, что обеспечивает равномерное распределение потока газовой фазы в аппарате по времени пребывания. Диапазон радиальных дисперсий σ^2 составил 0,080...0,130 (число Пекле продольной диффузии $Pe_l = 16,79...26,45$), диаметральных дисперсий 0,048...0,062 ($Pe_r = 33,49...43,40$), а дисперсия профилей по концентрическому окружному шагу составила 0,007, что свидетельствует о сравнительно стабильных полях фильтрационных течений и близости структуры потока по газовой фазе к режиму идеального вытеснения.

Согласно классифицирующей методике зависимости $\lambda = f(Re_m)$ насадочный материал S-BT5_{ε-0,85} занял диапазон 2,2...2,7 по коэффициенту гидравлического сопротивления λ и 3...9,8 по модифицированному критерию Рейнольдса Re_m , что полностью соответствует насадочным устройствам, ориентированным на процесс испарительного охлаждения оборотной воды [27], и при определенной компоновке насадочных блоков и режимах орошения также может найти применение в малогабаритных абсорбционных аппаратах селективной очистки газовых выбросов [25, 26].

Представленные в работе классифицирующие методики способны распознавать различного рода насадочные материалы в качестве потенциально применимых для широкого спектра промышленных тепло- и массообменных процессов и аппаратов.

Экспериментально определены коэффициенты тепло- и массоотдачи для насадочного материала S-BT5_{ε=0,85} на базе отходов металлообработки $K_t = 159 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, $K_m = 0,041 \text{ кг}\cdot\text{W/м}^2\cdot\text{с}\cdot(\text{кг}\cdot\text{W/кг}\cdot\text{В})$. По интенсивности протекающих тепло- и массообменных процессов исследуемый насадочный материал уступает заявленным характеристикам ряда насадочных промышленных контактных устройств, что требует увеличения высоты насадочного блока. Однако с учетом высокой проницаемости насадочного материала это обстоятельство не приведет к существенному росту энергетических затрат на осуществление процесса, кроме того, исследуемый насадочный материал способен работать в условиях естественной тяги. С учетом теплофизических характеристик высота насадочного блока H_n моделируемого теплообменного аппарата составила 1,737 м.

Таким образом, насадочные материалы на основе отходов металлообработки или полимерных материалов различных производств и отраслей промышленности могут быть классифицированы при помощи разработанных методик обработки экспериментальных данных в области гидрогазодинамики. После экспериментального определения теплофизических характеристик эти насадочные блоки могут быть использованы в аппаратах испарительного охлаждения, рассчитанных на различные удельные производительности и глубины охлаждения промышленной оборотной воды. При этом можно придать определенные поверхностные свойства насадочным элементам (гидрофильность) для соответствия требованиям тепло- и массообменных процессов и развития поверхности контакта продуктов массообмена. Данное направление использования в качестве контактных блоков скомпонованных отходов металлообработки и полимерных материалов способно дать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаптев А. Г., Вадьяева И. А. Устройство и расчет промышленных градирен : монография. Казань : КГЭУ, 2004. 358 с.
2. Сокол Б. А., Чернышев А. К., Баранов Д. А. Насадки массообменных колонн / под ред. Д. А. Баранова. М. : Инфохим, 2009. 358 с.
3. Каган А. М., Лаптев А. Г., Пушинов А. С., Фарахов М. И. Контактные насадки промышленных теплообменников / под ред. А. Г. Лаптева. Казань : Отечество, 2013. 454 с.
4. Лаптев А. Г., Фарахов М. И., Лаптева Е. А. Сравнительные гидравлические и теплообменные характеристики пленочных регулярных насадок в градирнях // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 18. С. 71—74.
5. Дмитриев А. В., Круглов Л. В., Мадышев И. Н., Дмитриева О. С. Охлаждение оборотной воды предприятий энергетики в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами // Промышленная энергетика. 2018. № 11. С. 45—49.
6. Dmitriev A. V., Madyshev I. N., Khafizova A. I., Nikolaev A. N. Hydrodynamics in counterflow cooling tower with corrugated inclined contact elements // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1745. P. 012078.
7. Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Мадышев И. Н. Определение объемного коэффициента массоотдачи в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами // Инженерно-физический журнал. 2021. Т. 94. № 1. С. 121—126.
8. Experimental investigation of fill pack impact on thermal-hydraulic performance of evaporative cooling tower / A. V. Dmitriev, V. E. Zinurov, I. N. Madyshev, V. V. Kharkov, O. S. Dmitrieva // Thermal Science and Engineering Progress. 2021. Vol. 22. P. 100835.

9. *Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N.* Determination of the Volumetric Coefficient of Mass Transfer in Cooling Towers with Jet-Film Contact Devices // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2021. Vol. 94. No. 1. Pp. 113—117.
10. Оценка интенсивности развития турбулизации в теплообменниках насадочных контактных устройствах для селективной очистки газовых выбросов и испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 245—254.
11. *Мадьшев И. Н., Харьков В. В., Николаев А. Н.* Интенсификация теплообменных процессов в испарительных градирнях: монография. Казань : КНИТУ, 2022. 92 с.
12. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Круглов Л. В., Чичирова Н. Д.* Оценка эффективности процессов тепло- и массообмена в трехпоточной испарительной градирне с наклонно-гофрированными контактными элементами // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2020. Т. 12. № 4(48). С. 126—135.
13. *Мадьшев И. Н., Хафизова А. И.* Определение гидравлического сопротивления наклонно-гофрированных элементов блока оросителя градирни // *Энергетические системы*. 2019. № 1. С. 61—66.
14. *Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Madyshev I. N., Nikolaev A. N.* Flow dynamics of mass exchangers with jet-bubbling contact devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. No. (1-2). Pp. 130—134
15. *Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Мадьшев И. Н.* Определение коэффициента массоотдачи в жидкой фазе в струйно-барботажном контактном устройстве // *Теплоэнергетика*. 2016. № 9. С. 76—80.
16. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С.* Экспериментальное исследование гидравлических и теплообменных показателей наклонно-гофрированных контактных элементов оросителя градирни // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 1. С. 4—8.
17. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С.* Определение эффективности охлаждения оборотной воды в струйно-барботажных контактных элементах // *Экология и промышленность России*. 2016. Т. 20. № 6. С. 4—7.
18. *Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С., Дмитриев А. В.* Перспективы использования струйно-барботажных контактных устройств для повышения энергоэффективности теплообменных аппаратов // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. № 7. С. 36—39.
19. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С., Николаев А. Н.* Исследования диспергирования жидкости и газа в контактных устройствах с увеличенным диапазоном устойчивой работы // *Экология и промышленность России*. 2017. Т. 21. № 3. С. 12—15.
20. *Дмитриева О. С., Дмитриев А. В., Николаев А. Н.* Вихревая камера с дисковым распылителем для охлаждения оборотной воды промышленных предприятий // *Экология и промышленность России*. 2013. № 6. С. 16—18.
21. *Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Николаев А. Н.* Особенности охлаждения оборотной воды в вихревых камерах в зимний период // *Экология и промышленность России*. 2012. № 9. С. 12—13.
22. Регулярная блочная сетчатая насадка для локальных систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, И. А. Хижняков, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 80—87.
23. *Madyshev I. N., Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N.* Study of fluid dynamics of mass-transfer apparatuses having stream-bubble contact devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52. No. 5-6. Pp. 299—304.
24. *Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Лебедев В. Н., Персидский А. В.* Перспективный насадочный материал для контактных устройств испарительного охлаждения оборотной воды // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2021. № 5. С. 33—36.
25. *Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Качанов А. В.* Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне, работающей в режиме эмульгирования // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 3. С. 24—29.
26. Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев, А. Г. Карасев, А. Б. Голованчиков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 182—195.

27. Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Lebedev V. N., Persidskiy A. V. Promising packing material for recycled water evaporative cooling contact devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021. Vol. 57. No. 5—6. Pp. 416—422.
28. Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Gendler A., Lebedev V. N. Modelling and calculation of a small-size evaporation cooling apparatus for industrial recirculated water with a heat-and-mass exchange packing based on wastes from metal-working machinery // *E3S Web of Conferences*. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020». 2020. P. 02003.
29. Автоматическое управление режимами работы аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, А. С. Шилихин, А. Б. Голованчиков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 4(77). С. 124—135.
30. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Топилин М. В. Моделирование процессов управления в нефтегазоперерабатывающем массообменном оборудовании: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2021. 212 с.
31. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Лебедев В. Н. Моделирование процессов управления в экологическом массообменном оборудовании: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. 188 с.
32. Голованчиков А. Б., Балашов В. А., Меренцов Н. А. Уравнение фильтрации для насадочных контактных устройств // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2017. № 1. С. 8—10.
33. Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A. The filtration equation for packing material // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. No. 1-2. Pp. 10—13.
34. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Прохоренко Н. А. Определение параметров структуры потоков пара и кипящего раствора в ректификационной колонне // *Вестник Тамбовского государственного технического университета (Вестник ТГТУ)*. 2022. Т. 28. № 1. С. 85—93.
35. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Моделирование тепломассообменных насадочных устройств с развитым капельным режимом течения: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2019. 140 с.
36. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляционной градирни с капельным орошением // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28(47). С. 171—178.
37. Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Balashov V. A. Modeling and analysis of a mechanical-draft cooling tower with wire packing and drip irrigation // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48. No. 9-10. Pp. 595—601.

© Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Лебедев В. Н., Тезиков Д. А.,
Грошев В. В., Ускова Д. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Энерго- и ресурсосберегающие насадочные контактные устройства для аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. Н. Лебедев, Д. А. Тезиков, В. В. Грошев, Д. А. Ускова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 168—179.

Об авторах:

Меренцов Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; steeples@mail.ru, pahp@vstu.ru

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; pahp@vstu.ru

Лебедев Виталий Николаевич — инженер, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг Волгоград-НИПИморнефть». Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 96; oilproject@lukoilvmn.ru

Тезиков Дмитрий Александрович — старший преподаватель каф. физической подготовки, Волгоградская академия МВД России. Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Историческая, 130; volakdm@va-mvd

Грошев Вячеслав Викторович — старший преподаватель каф. физвоспитания, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Ускова Дарья Алексеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Nikolai A. Merentsov^a, Aleksandr B. Golovanchikov^a, Vitalii N. Lebedev^b,
Dmitry A. Tezikov^c, Vyacheslav V. Groshev^a, Daria A. Uskova^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft*

^c *Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia*

ENERGY- AND RESOURCE SAVING PACKED CONTACT DEVICES FOR EVAPORATIVE COOLING APPARATUS OF INDUSTRIAL CIRCULATING WATER SUPPLY SYSTEM

The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists — candidates of sciences MK-1287.2020.8 "Modeling of control processes in mass-exchange environmental and oil and gas processing equipment"

The paper considers the promising of using energy and resource-saving packing materials based on metal processing wastes or polymer wastes in the form of assembled contact blocks of evaporative cooling devices of industrial cooling water. Classification methods of experimental data processing in the field of hydro- and gas dynamics are presented, which allow to give a conclusion on suitability of the analysed packing materials as contact blocks of heat and mass exchange devices of various industrial purposes. The results of mathematical modeling and calculation of the main technological and geometric parameters of the evaporative cooling apparatus of industrial cooling water with classified packing material S-VT5_{ε-0,85} are given.

Key words: energy and resource saving, hydrodynamics, gas dynamics, heat and mass transfer, packing material, contact unit, evaporative cooling, cooling water, cooling towers, water supply systems.

For citation:

Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Lebedev V. N., Tezikov D. A., Groshev V. V., Uskova D. A. [Energy and resource saving packed contact devices for evaporative cooling apparatus of industrial circulating water supply system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 168—179.

About authors:

Nikolai A. Merentsov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Aleksandr B. Golovanchikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; pahp@vstu.ru

Vitalii N. Lebedev — Engineer, branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft. 96, Lenina Ave., Volgograd, Russian Federation; oilproject@lukoilvmn.ru

Dmitry A. Tezikov — Senior Lecturer, Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 130, Istoricheskaya st., Volgograd, 400075, Russian Federation; volakdm@va-mvd

Vyacheslav V. Groshev — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Daria A. Uskova — Master' Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation