

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ

УДК 628.33

ДЕЗАГРЕГАЦИЯ ФАЗОВО-ДИСПЕРСНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Н. С. Серпокрьлов, Е. В. Яковлева, Н. Н. Шпилова

Ростовский государственный строительный университет

Северо-Кавказский техникум «Знание», Тимашевский филиал

Для выделения загрязнений IV–VII групп фазово-дисперсных состояний из производственных сточных вод широко применяются варианты технологии ActifloCarb с порошковым активированным углем. Нами обоснована технология модифицированного режима ActifloCarb с применением в качестве сорбента углеродсодержащих отходов предприятий углепереработки для одновременного удаления твердых дисперсных и жидких загрязнений, что обеспечит возможность оборотного использования технологической воды. Предложена установка «Пирамида N» для предварительного выделения загрязнений производственных сточных вод, находящихся в разных агрегатных состояниях, перед сооружениями доочистки. На базе компьютерного моделирования потоков жидкости в программе ANSYS обоснован и реализован в опытно-промышленных условиях гидродинамический режим, обеспечивающий наибольший коэффициент использования объема.

Ключевые слова: фазово-дисперсные состояния загрязнений, режим ActifloCarb, углевание, уголь, шихта, углеродсодержащие отходы, компьютерное моделирование, коэффициент использования объема.

THE DISAGGREGATION OF DISPERSION POLLUTANTS OF INDUSTRIAL WASTEWATER

N. S. Serpokrylov, E. V. Yakovleva, N. N. Shpilova

Rostov State University of Civil Engineering

The North Caucasian technical school "Knowledge", Timashevsk branch

To discharge contaminants IV–VII groups of the phase-disperse state of industrial wastewater is widely applied variants of technology ActifloCarb with powdered activated carbon. We proved the technology a modified mode ActifloCarb with the use as a sorbent of carbon-containing wastes of mining enterprises for simultaneous removal of solid particulate and liquid contamination, with the possibility of recycling process water. Proposed installation of a "Pyramid N" for pre-allocation of pollution of industrial wastewater located in different States of aggregation, before the tertiary treatment facilities. On the basis of computer modeling the fluid flow in the ANSYS program is justified and implemented in pilot conditions hydrodynamic mode which provides the highest utilization of volume.

Keywords: dispersion state of contamination, the mode ActifloCarb, uglevanie, coal, blend, carbonaceous waste, computer simulation, the utilization factor of the volume.

Производственные сточные воды (ПСВ), содержащие химические загрязнения в виде газовых, плавающих и оседающих компонентов, представляют трехфазную полидисперсную систему, состав и свойства которой определяются технологическим профилем предприятия и типом выпускаемого продукта.

Для создания технологической схемы важно не только иметь информацию о химическом составе исходной воды и концентрации загрязняющих ее веществ, но и правильно установить их конкретные фазово-дисперсные состояния [1], в которых они поступают на очистку, включая гидро- и газодинамику процесса (рис. 1).

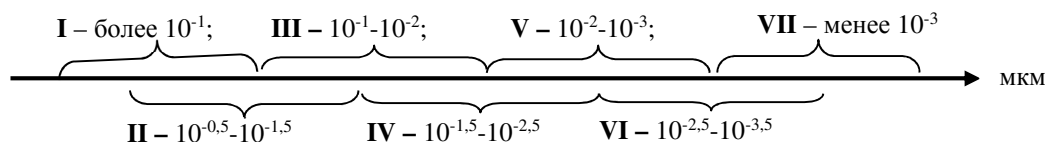


Рис. 1. Классификация фазово-дисперсных состояний загрязнений сточных вод

Приведенная классификация подразделяет состояния примесей в воде на основные, к которым относятся вещества I (взвешенное состояние), III (коллоидное), V (молекулярно-растворенное) и VII (ионно-растворенное) групп, и пограничные (переходные), состоящие из включе-

ний II (ультравзвешенное состояние), IV (постколлоидное) и VI (атомарно растворенное) групп.

На практике загрязнения ПСВ представляют в основном смесь всех (или отдельных) групп (I–VII), поэтому разрабатывать технологическую

схему очистки и ее конструктивное оформление теоретически, основываясь только на базе классификационных признаков, явно недостаточно. С учетом рекомендаций по обработке вод классификации [1] требуется экспериментальная проработка технологии с максимально возможным объединением в одном сооружении разных функций, например, таких как отстаивание, флотация, сорбция, фильтрование и т. п.

Одним из вариантов такого подхода являются технологии ускоренного осветления воды Actiflo, когда в качестве «замутнителя», затравочных зерен для хлопьеобразования используется микропесок (Actisand™) [2]. Хлопья, утяжеленные микропеском, имеют вертикальную скорость осаждения для питьевой воды 40–80 м/ч.

Принцип работы заключается в следующем: в исходную воду добавляется коагулянт, и далее смесь поступает в эжекторную камеру. В ней хлопья, сформированные на стадии коагуляции, «утяжеляются» микропеском, который непрерывно вводится в камеру. Вода с реагентом подается в резервуар «созревания», оборудованный мешалкой для поддержания оптимальных градиентов скорости, при которых хлопья уве-

личиваются и «созревают». Далее вода поступает в полочный осветлитель с тонкослойными модулями. Осветленная вода собирается с помощью лотков. Образовавшийся осадок подается на гидроциклон, где происходит его отделение от микропеска. Осадок удаляется из установки, а микропесок возвращается в эжекторную камеру для повторного использования.

Недостатком данного метода очистки воды является невозможность одновременного удаления дисперсных загрязнений, тяжелых металлов, а также загрязнений, находящихся в жидком состоянии, для обеспечения оборотного использования технологической воды. Поэтому для выделения загрязнений IV–VII групп фазово-дисперсных состояний из ПСВ широко применяется технология ActifloCarb [3] с порошковым активированным углем (режим углевания в отечественной терминологии по очистке вод является элементом данной технологии). Рабочие характеристики процесса ActifloCarb такие же, как для Actiflo. В дополнение к резервуарам коагуляции, флокуляции и отстаивания ActifloCarb имеет РАС предконтактный резервуар, предназначенный для адсорбции загрязняющих веществ (рис. 2).

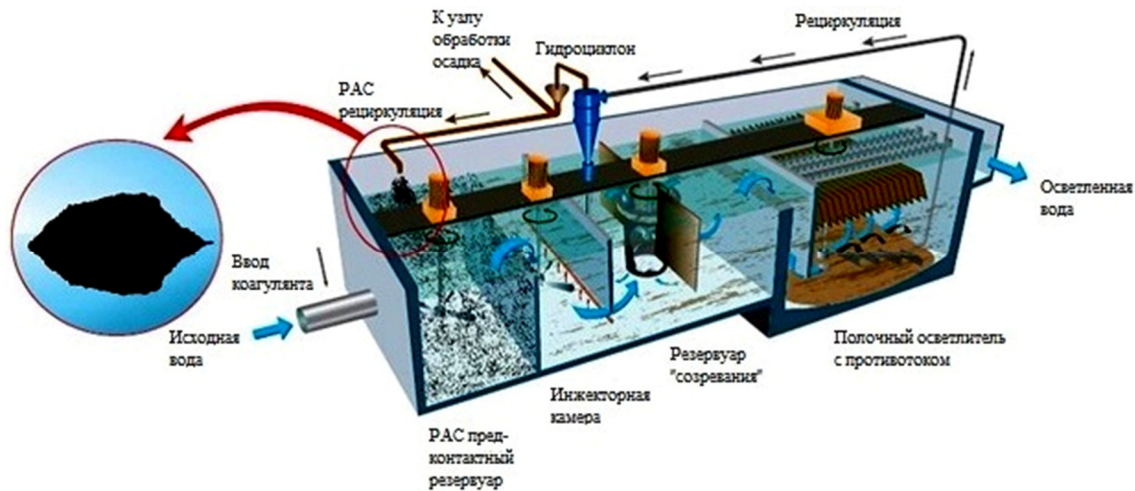


Рис. 2. Схема установки и технологического процесса очистки ActifloCarb

В то же время практика промышленной реализации процесса углевания воды имеет ряд недостатков:

1. Порошкообразный уголь требует постоянного подбора дозы в соответствии с видом и концентрацией загрязнений, поэтому при удалении химических загрязнений возникают трудности, связанные со сложностью и длительностью анализа воды.

2. Порошкообразный уголь пылит, и это вызывает большие проблемы при его использовании.

3. Активные угли – весьма дорогостоящие реагенты, поэтому желательно использовать их многократно, применяя регенерацию, которую

крайне затруднительно осуществить при углевании воды.

4. Для наиболее полного использования адсорбционных свойств порошкообразного угля необходимо обеспечить определенное время его контакта с обрабатываемой водой. В зависимости от качества воды, требуемой дозы угля и других факторов порошкообразный уголь вводят в различных точках технологической схемы очистки воды. Поскольку порошкообразный уголь является дополнительной нагрузкой, то ввод его перед фильтровальными сооружениями возможен только при сравнительно небольших дозах.

Для доочистки ПСВ (загрязнения IV–VII групп) после реагентной обработки проведены лабораторные и опытно-промышленные исследования с использованием углеродсодержащего отхода (УСО) электродного завода (г. Новочеркасск) и термически обработанного антрацита обогатительной фабрики шахты «Обуховская» (ООО «Флагман», г. Гуково) фильтрованием и углеванием. Эти материалы направляются в отвал как непригодные в производство. Применение их в качестве сорбентов, кроме получения дешевого сорбционного материала, позволяет улучшить экологическую обстановку в районе предприятия, а шлам этих сорбентов можно утилизировать с получением топливных гранул (пеллет).

УСО (далее – «шихта») является неотъемлемой частью техпроцесса в ОАО «Новочеркасский электродный завод» – крупнейшем предприятии в России по выпуску графитированных электродов для металлургии. Термически обработанный антрацит (далее – «уголь») является отходом производства углеродсодержащего материала, который применяется в процессе выплавки стали в сталеплавильных агрегатах и используется в цементном производстве в качестве интенсификатора помола цемента.

Технические характеристики по результатам испытаний «угля» [4] и «шихты» [5] приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Результаты испытания углеродсодержащего отхода «уголь»

Фракции, мм	Плотность, г/см ³	Межзерновая пористость, %		Измельчаемость, %	Истираемость, %	Сухой остаток, мг/л прирост	Окисляемость O ₂ , мг/л	Иодное число, мг/г	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г
		max	min						
0,5-1,0	1,54	63,0	61,0	1,0	0,2	10,0	3,32	76	22

Таблица 2

Результаты испытания термически обработанного антрацита «шихта»

Иодное число, мг/г	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	Химическая стойкость в модельном растворе 0,017 % соляной кислоты, мг/дм ³				Истираемость, % (соляная кислота)	Измельчаемость, % (соляная кислота)
		Прирост окисляемости	Прирост массовой концентрации H ₂ SiO ₃ в пересчете на Si	Прирост сухого остатка	Прирост суммарной массовой концентрации Al и Fe в пересчете на оксиды (III)		
88	22	2,1	7,2	15	1,8	0,3	2

Проверку дезагрегации фазово-дисперсных загрязнений в разных состояниях с применением «шихты» и «угля» проводили в лабораторных и опытно-промышленных условиях на реальных ПСВ.

В лабораторных условиях сравнивали эффективность выделения загрязнений IV–VII групп из ПСВ машиностроительного завода фильтрованием согласно методике: а) промывка «угля» и «шихты» проточной водой; б) загрузка двух фильтров объемом 150 см³ «шихтой» и «углем» соответственно; в) пропуск химически загрязненных сточных вод объемом 800 мл через каждый фильтр-адсорбер со скоростью 6,5 м/ч; г) отбор проб на анализ через 5 и 30 минут фильтрования (рис. 3).

На втором этапе в лабораторных условиях исследовали эффективность выделения примесей разного дисперсно-фазового состояния в режиме углевания с использованием в качестве сорбентов «угля» и «шихты» фракциями 0,1–0,3 мм: а) помещение в две мерные емкости объемом 1 л каждая с химически загрязненными сточными водами, отобранными из распределительной камеры отстойников, по 2 г «угля» и «шихты» соответственно; б) механическое перемешивание химически загрязненных сточных вод с сорбентами

в течение 3 мин.; в) отстаивание полученных смесей в течение 30 мин. и отбор проб на анализ.

Результаты анализов отобранных проб после углевания и фильтрования приведены на диаграмме (рис. 3).

Из анализа результатов лабораторных исследований следует, что лучшей способностью очистки химически загрязненных сточных вод обладает «уголь». Эффективность удаления цинка при реагенте «уголь» составила 60 % от исходной концентрации, а у «шихты» – 25 % (при отстаивании после углевания). По остальным сравнительным параметрам реагенты показали приблизительно одинаковые результаты, что указывает на возможность промышленного применения обоих сорбентов.

Исходные (числитель) и остаточные (знаменатель) концентрации загрязнений, например, после фильтрования предварительно очищенных ПСВ в течение 30 мин. через «уголь», мг/л: по НП – 26,9/8,5; по ВВ – 112/51,0; по Zn – 0,2/0,045; по Al³⁺ – 0,26/0,02; по Fe – 3,54/0,65. Очищенная вода может быть использована в водных операциях предприятия или направлена в городскую систему водоотведения.

Опытно-промышленные исследования по доочистке химически загрязненных сточных

вод проводили на локальных очистных сооружениях завода ОАО «Ростсельмаш» (рис. 4), расход 110 м³/час в модифицированном режиме

процесса ActifloCarb – дозировали «уголь» и «шихту» (крупностью 0,1–0,3 мм) с введением и без введения флокулянта полиакриламида (ПАА).

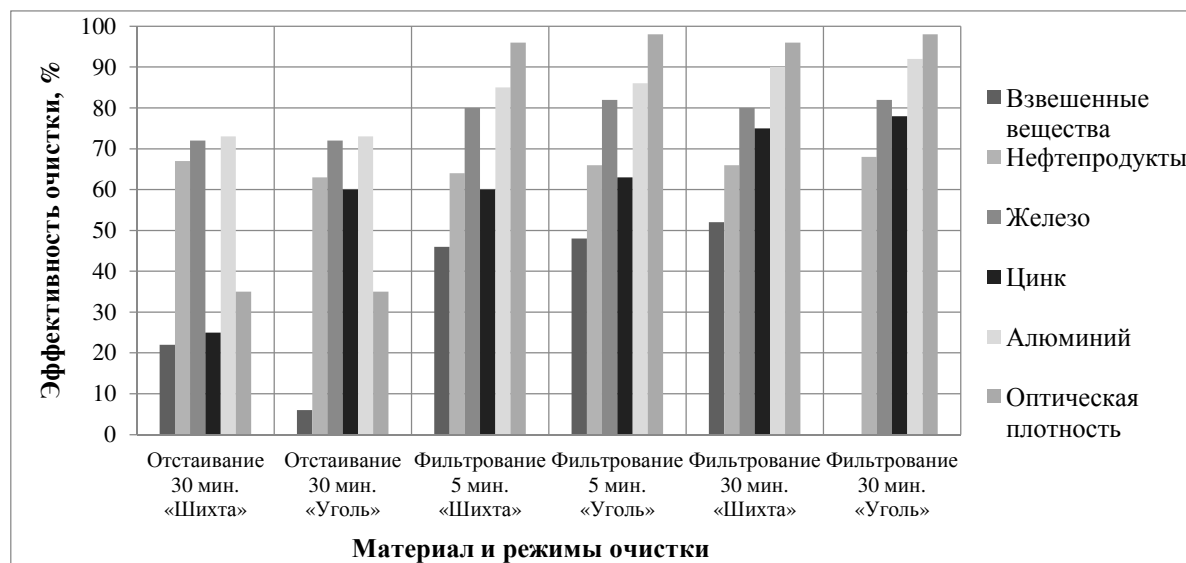


Рис. 3. Эффективность очистки сточных вод при отстаивании после углевания и доочистки на фильтре

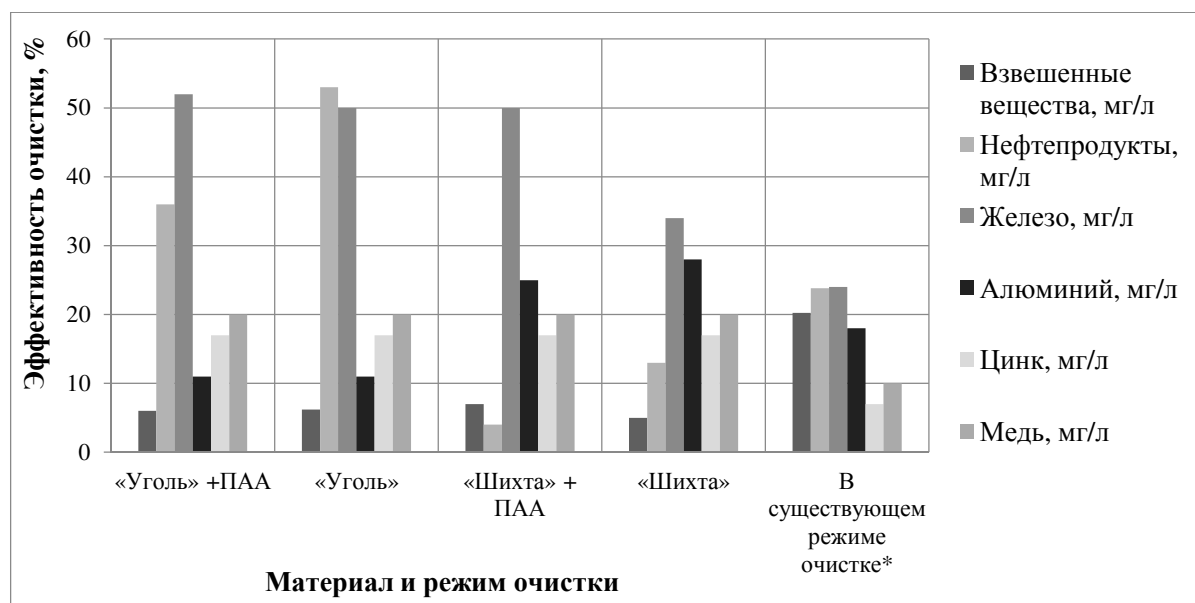


Рис. 4. Результаты промышленного эксперимента по доочистке ПСВ с использованием реагентов «уголь» и «шихта» дозой 0,5 г/л (500 г/м³)

Примечание. * – после очистки на следующих сооружениях: песколовка, нефтеловушка, отстойник

Через каждый час (с учетом времени пребывания ПСВ) после введения в обрабатываемую воду реагентов отбирались пробы из отстойника на анализы по взвешенным веществам для определения характера осаждения «угля» и «шихты». Отмечено, что через час после введения наблюдается увеличения количества взвешенных веществ до 186,0 мг/л («шихта») и до 196,2 мг/л («уголь»). Через 5 часов проведения эксперимента количество взвешенных веществ составило 161,5 мг/л («шихта») и 152,5 мг/л («уголь»).

В ходе опытно-промышленного эксперимента было установлено, что более эффективная очистка химически загрязненных ПСВ наблюдается при использовании сорбента «уголь», чем «шихта», причем без введения флокулянта. Эффективность удаления нефтепродуктов сорбентом «уголь» составила 36 %, железа – 52 %.

Технология очистки ПСВ ActifloCarb основана на повторном использовании порошкового активированного угля, в модифицированном режиме процесса ActifloCarb использовали отрабо-

танные шламы, извлеченные из отстойника, с определенной адсорбционной емкостью (табл. 3).

Можно видеть, что большей адсорбционной емкостью обладает шлам «шихты», чем «угля», однако следует постоянно вводить и свежий сорбент, так как остаточное содержание загрязнений не позволяет осуществлять дальнейшее

использование очищенных вод в оборотной системе водоснабжения предприятия. В то же время полученные данные лабораторных и опытно-промышленных исследований указывают на возможность введения углеродсодержащих отходов на первых ступенях очистки в сооружение для разделения загрязнений, находящихся в разных агрегатных состояниях.

Таблица 3

Показатели очистки ПСВ при вторичном использовании шламов из отстойника при дозировании «угля» и «шихты»

Определяемые показатели	Исх. ПСВ, мг/л	Шлам от «угля»		Шлам от «шихты»	
		мг/л	эф-ть, %	мг/л	эф-ть, %
Нефтепродукты	15,62	15,19	2,75	15,08	3,44
Железо	4,65	4,47	3,94	2,75	40,86
Цинк	0,20	0,19	5,00	0,18	8,33
Алюминий	0,29	0,28	2,30	0,01	97,36
Медь	0,013	0,010	20,51	0,011	15,38

В качестве такого сооружения предложена установка «Пирамида N» [6, 7], которая представляет собой устройство для предварительного выделения фазовых загрязнений ПСВ (нефтепродуктов, взвешенных веществ, жиров, масел, органических примесей, ПАВ и других дисперсных загрязнений) перед флотаторами или фильтрами с зернистой загрузкой (рис. 5).

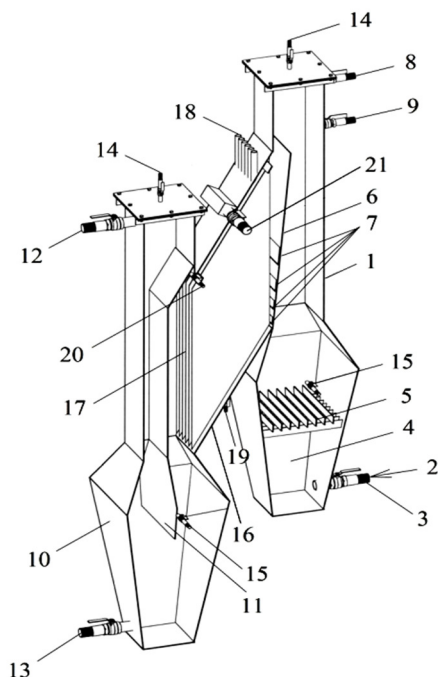


Рис. 5. Устройство для разделения фазовых загрязнений сточных вод «Пирамида N»

Принцип работы установки заключается в следующем. Исходные ПСВ подаются по трубопроводу 2 резервуара 1, в который осуществляется подача реагента 3, и поступают в зону взвешенного фильтра 4, затем струенаправляющей перегородкой 5 направляются к впускным

распределительным окнам 7 регулируемой в вертикальной плоскости перегородки 6, через которые проходят осветленные сточные воды и поступают в камеру тонкослойного отстаивания 16 на тонкослойные модули 17, где предусмотрены штуцеры 18 и трубопроводы 19, 20 и 21. Затем отстаиваемые сточные воды поступают в резервуар 10, содержащий зону отстаивания и уплотнения твердой фазы, и с помощью перегородки 11, которая разделяет нисходящие и восходящие потоки, проходят сначала через слой взвешенного фильтра, сформированный из осевшей твердой фазы, затем направляются к трубопроводу 12.

Установка может работать в напорном и безнапорном режимах. В резервуаре 1 осуществляется отвод нефтепродуктов через трубопровод 8 при работе установки в напорном режиме и через трубопровод 9 – в безнапорном режиме. В резервуаре 10 отвод шлама предусматривается через трубопровод 13. Отвод газов в резервуарах 1 и 10 осуществляется через трубопроводы 14.

Расход ПСВ, подаваемых на установку, составляет 1–5 м³/час, в пересчете на удельную нагрузку 0,93–4,63 м³/м²·час.

Для расчетного определения гидродинамических параметров потока жидкости в установке (скорости, давления и коэффициента использования объема) проведено компьютерное моделирование в программе ANSYS [8], позволяющее получить линии тока и давления, векторы скоростей в формате 3D с их значениями. Модели движения жидкости по установке были построены для ламинарного и турбулентного режимов (рис. 6а, б).

В таблице 4 приведены расчетные скорости движения воды по установке, обеспечивающие оптимальный гидродинамический режим по условиям моделирования на программе ANSYS.

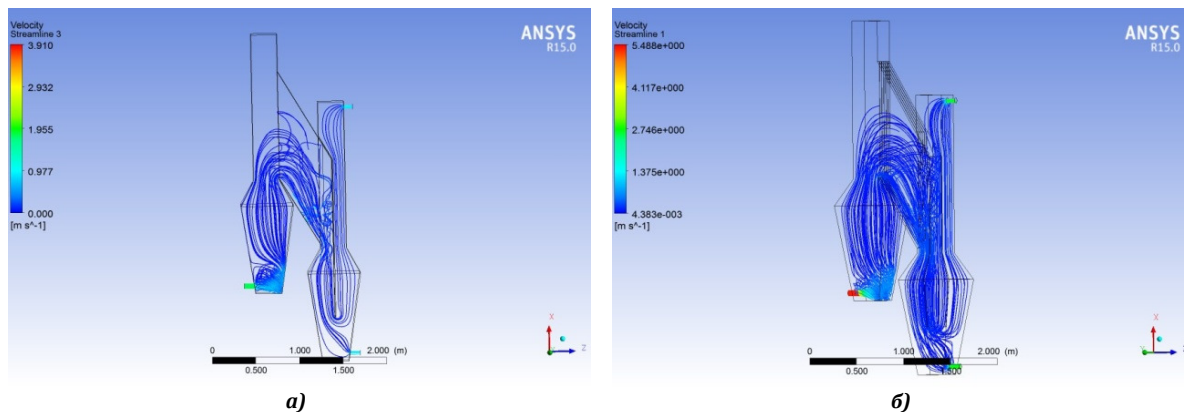


Рис. 6. Линии тока движения жидкости: а) ламинарный режим $Q = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$; б) турбулентный режим $Q = 0,0015 \text{ м}^3/\text{с}$

Таблица 4

Расчетные скорости движения очищаемой воды по установке

№ точки (рис. 5)	Скорость $V = Q/\omega$, м/с, при расходе Q , $\text{м}^3/\text{с}$		Площадь ω , м^2
	турбулентный режим - 0,0015	ламинарный режим - 0,0005	
4	0,014/0,0126	0,005/0,0055	0,109
5	0,004/0,0044	0,001/0,0009	0,360
6	0,033/0,0345	0,011/0,0104	0,046
17	0,004/0,0042	0,001/0,0011	0,345
15	0,023/0,0258	0,008/0,0085	0,066
12	0,017/0,0164	0,006/0,0065	0,090

Примечание: в числителе – скорость движения жидкости в установке, определенная объемным способом, в знаменателе – определенная с помощью программы ANSYS. Расхождения между ними составляют менее 10 %, следовательно, можем вести моделирование и расчет установок для производственных условий.

Определение коэффициента объемного использования установки по программе ANSYS проводили через процентное соотношение скоростей движения потока жидкости в максимальном и минимальном (приоритетных) по площади поперечных сечениях (рис. 7–9).

Объемным методом определили время пребывания очищаемых сточных вод в установке: 40 мин. (ламинарный режим, $Q = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$) и 15 мин. (турбулентный режим, $Q = 0,0015 \text{ м}^3/\text{с}$). Исходя из объема установки $1,15 \text{ м}^3$ расчетное время пребывания сточных вод равно 38 мин. и 13 мин. соответственно; отклонение расчетного и опытного значений составляет 5 % (ламинарный режим) и 13 % (турбулентный). Тогда коэффициент объемного использования при ламинарном режиме – 0,93, при турбулентном – 0,80.

Анализируя данные компьютерного моделирования на программе ANSYS в ламинарном режиме (рис. 7, 10), определили суммарный расход струй жидкости в максимальном и минимальном по площади сечениях установки, который

составляет соответственно $0,00059$ и $0,00034 \text{ м}^3/\text{с}$ (среднее значение: $0,00047 \text{ м}^3/\text{с}$); в турбулентном режиме (рис. 8, 10) – $0,0012$ и $0,0014 \text{ м}^3/\text{с}$ (среднее значение: $0,0013 \text{ м}^3/\text{с}$). Время пребывания жидкости в установке – 38,5 мин. (ламинарный режим) и 13,1 мин. (турбулентный). Коэффициент объемного использования в этом случае определялся как отношение объема установки ($1,15 \text{ м}^3$) к расходам, определенным через приоритетные сечения, и равен $0,96$ и $0,99$ соответственно. Это весьма близко к экспериментальным данным, из чего следует вывод о возможности применения компьютерного моделирования на программе ANSYS для определения коэффициента использования объема в проектировании.

Применительно к химически загрязненным сточным водам машиностроительного завода расчет установки «Пирамида N» будет определяться только значением гидравлической крупности, поскольку коэффициент использования объема приближен к 1.

Скорость всплытия и осаждения загрязнений (или гидравлическая крупность частиц) зависит от температуры воды, разности плотности воды и загрязнений, их концентрации, наличия внутризонных циркуляций и т. п. [9]. Гидравлическая крупность взвешенных веществ $1,2\text{--}5 \text{ мм/с}$ ($0,0012\text{--}0,005 \text{ м/с}$), песка – до 25 мм/с ($0,025 \text{ м/с}$) [10]. Гидроксиды тяжелых металлов при соответствующих значениях pH воды малорастворимы и образуют в воде хлопья размером $0,5\text{--}2,0 \text{ мм}$, которые имеют гидравлическую крупность $0,5 - 1,0 \text{ мм/с}$ ($0,0005\text{--}0,001 \text{ м/с}$) и более. В двухфазных системах вода-воздух (при оптимальном размере пузырьков $15\text{--}30 \text{ мк}$) скорость всплытия пузырьков с захваченными частицами нефти составляет $0,9\text{--}1,0 \text{ мм/с}$ ($0,0009\text{--}0,001 \text{ м/с}$). [11]

Расчетную скорость потока для сточных вод следует принимать, исходя из наименьшей скорости осаждения (всплытия) тех частиц, на задержание которых рассчитывается сооружение.

Исходя из рекомендуемых [10, 11] и полученных (табл. 5) скоростей осаждения (всплывания) загрязняющих веществ, находящихся в разных фазово-дисперсных состояниях, можно сделать следующий вывод: при расходе сточных вод $Q = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$ (ламинарный режим) выделение взвешенных веществ и песка происходит в зоне 4, гидроксидов тяжелых металлов – в зоне 16 и нефтепродуктов – в зоне 1 (отводятся

через трубопроводы 8 и 9) или в зоне 16 (отводятся через трубопровод 21).

Поскольку в установке «Пирамида N» на разных этапах очистки происходит выделение всех фаз загрязнений (жидкая – нефть, масла; твердая – взвешенные вещества, выпадающие в осадок, и плавающие вещества; газообразная – H_2S , CH_4), что отсутствует в существующих сооружениях, то упрощается и их последующая утилизация.

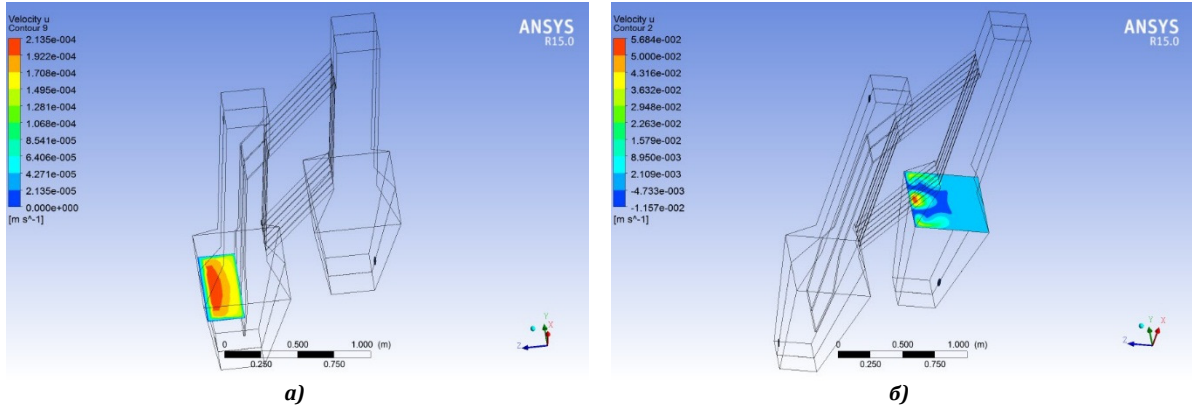


Рис. 7. Распределение скоростей, м/с, при ламинарном режиме движения жидкости в приоритетных поперечных сечениях установки: а) минимальном по площади, б) максимальном

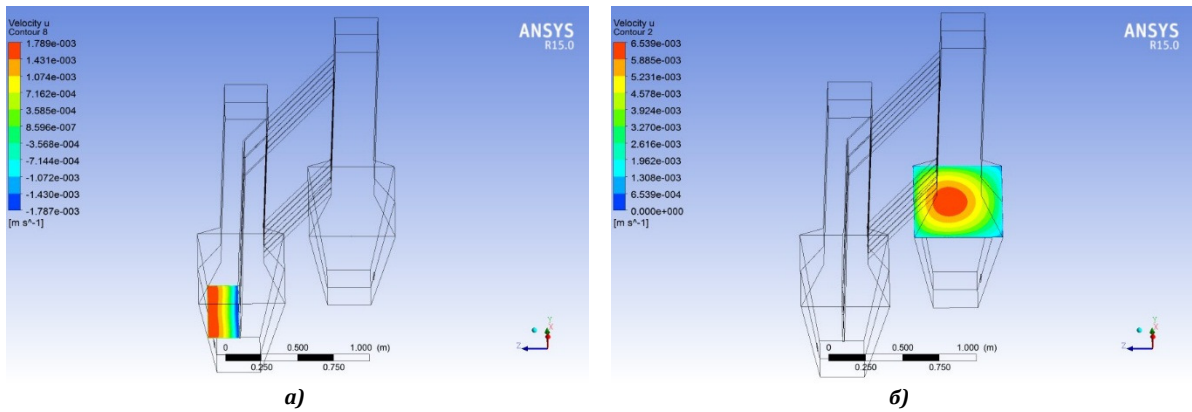


Рис. 8. Распределение скоростей, м/с, при турбулентном режиме движения жидкости в приоритетных поперечных сечениях установки: а) минимальном по площади, б) максимальном

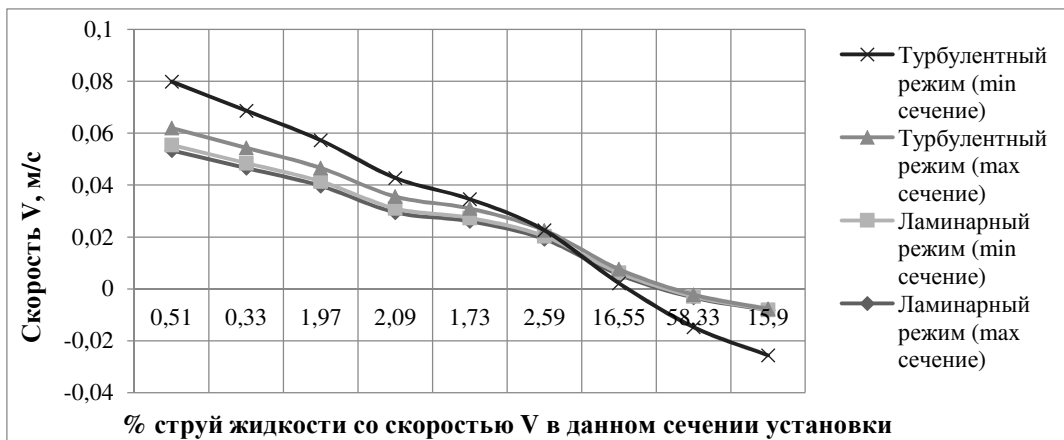


Рис. 9. Процентное соотношение скоростей движения потока жидкости в приоритетных по площади поперечных сечениях установки

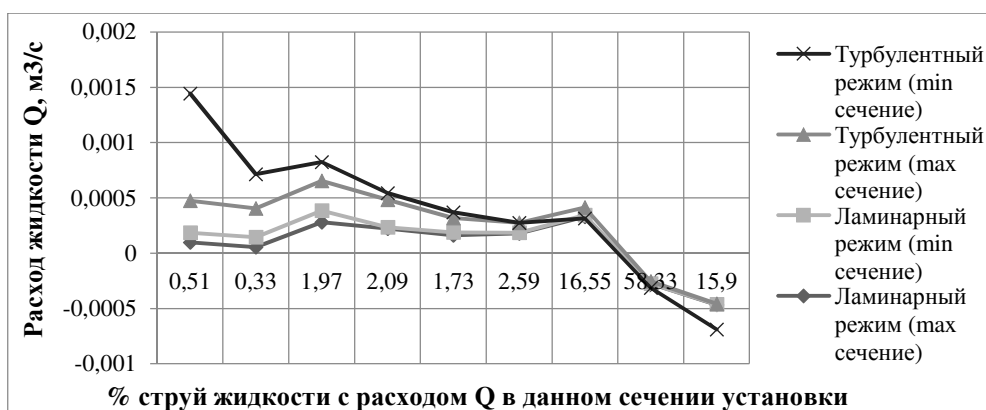


Рис. 10. Процентное соотношение расходов струй в потоке жидкости в приоритетных по площади поперечных сечениях установки

Таблица 5

Результаты промышленного эксперимента с использованием реагентов «уголь» и «шихта» при введении в установку «Пирамида N» дозой 0,5 г/л (500 г/м³)

Определяемые показатели	Исх. СВ	«Уголь» + ПАА		«Уголь»		«Шихта» + ПАА		«Шихта»		ОСВ в существующем режиме*
		ОСВ*	Эф-ть, %	ОСВ*	Эф-ть, %	ОСВ*	Эф-ть, %	ОСВ*	Эф-ть, %	
рН	8,85	8,78	-	8,68	-	8,43	-	8,35	-	8,73
Температура	14 °С	14 °С	-	14 °С	-	14 °С	-	14 °С	-	14 °С
Взвешенные вещества, мг/л	146	113,8	22	116,8	20	115,34	21	118,26	19	118
Нефтепродукты, мг/л	32,6	6,52	80	8,15	75	7,17	78	8,80	73	11,35
Железо, мг/л	5,50	1,98	64	2,15	61	2,2	60	3,14	43	3,20
Цинк, мг/л	0,15	0,13	12	0,135	11	0,14	10	0,14	9	0,12
Алюминий, мг/л	0,25	0,19	23	0,20	22	0,16	35	0,16	37	0,18
Медь, мг/л	0,013	0,011	12	0,012	11	0,012	10	0,012	9	0,01

* После песколовки и нефтеловушки без введения сорбентов и коагулянта

Промышленная отработка режимов очистки ПСВ в производственных условиях с введением сорбентов «уголь» и «шихта» дозой 0,5 г/л в установку «Пирамида N» (табл. 5) подтвердила перспективность выделения нескольких

групп по фазово-дисперсному состоянию, особенно в сочетании с технологией ActifloCarb. Также перспективно использование данной установки при ретехнологизации существующих очистных сооружений.

Список литературы

- Кульский Л. А., Булава М. Н., Горонковский И. Т., Смирнов П. И. Проектирование и расчет очистных сооружений водопроводов. Изд. 2-е. Киев : Будівельник, 1972. 424 с.
- Шемякин Ю. В., Подковыров В. П., Стрихар Ю. В., Арутюнова И. Ю., Ягунков С. Ю. Технология высокоскоростного осветления воды с использованием микропеска // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. Вып. 10.
- Моктар А. А., Михайлов В. А., Гризодуб Н. Н., Серпокрьлов Н. С. Исследование процесса физико-химической очистки городских сточных вод г. Буабриан, Канада // Водоснабжение и канализация. 2013. № 3–4. С. 50–57.
- Веселовская Е. В., Юсупов М. С. Об очистке и доочистке нефтесодержащих сточных вод на новых фильтрующих материалах // Очистка природных и сточных вод : сб. тр. / Рост. гос. акад. стр-ва. Ростов-на-Дону, 1992. С. 21–23.
- Серпокрьлов Н. С., Веселовская Е. В., Коломиец В. А. Использование отходов электродных заводов в технологических процессах очистки вод // Синтез неорганических сорбентов и применение их для очистки сточных вод : тезисы докладов. Челябинск, 1990. С. 48.
- Устройство для разделения фазовых загрязнений сточных вод : патент РФ № 2013143914/05, 30.09.2013 / Н. С. Серпокрьлов, Е. В. Яковлева, Е. В. Самсонова, П. О. Банников // Патент России № 139206. 2014. Бюл. № 10.
- Устройство для разделения фазовых загрязнений сточных вод : патент РФ № 2013107088/05, 18.02.2013 / Н. С. Серпокрьлов, Е. В. Яковлева, Е. В. Самсонова, П. О. Банников // Патент России № 145906. 2014. Бюл. № 27.
- Куля Н. Н. Экспериментальное исследование водоструйного аэратора // Наукоедение. 2012. Вып. № 3. URL: <http://naukovedenie.ru/sbornik12/12-64.pdf>
- Кичигин В. И. Водоотводящие системы промышленных предприятий : учебник для вузов. М. : АСВ, 2011.
- Яковлев С. В. Карелин Я. А. Ласков Ю. М. Воронов Ю. В. Очистка производственных сточных вод : учеб. пособие для вузов. Доп. МВССО СССР / под ред. С. В. Яковлева. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1985. 335 с.
- Жабо В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС : учебник для техникумов. М. : Энергоатомиздат, 1992. 138 с.

© Н. С. Серпокрьлов, Е. В. Яковлева, Н. Н. Шпилова

Ссылка для цитирования:

Серпокрьлов Н. С., Яковлева Е. В., Шпилова Н. Н. Деагрегация фазово-дисперсных загрязнений производственных сточных вод // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 4 (14). С. 52–59.