

The calculated data show, that the acidity of the active centres grows at increase in quantity of the adsorbed water molecules at surfaces for all oxide disperse materials, and is will be co-ordinated with conclusions of authors [2,5].

REFERENCES:

1. Tarasevich, Yu. I. (2011), *Poverhnostnyie yavleniya na dispesnyih materialah* [The superficial phenomena on disperse materials], "Naukova dumka", Kyiv, Ukraine, p. 390.
2. Ikonnikova, K. V., Ikonnikova, L. F., Minakova, T. S., Sarkisov, Yu. S. (2011), *Teoriya i praktika pH-metricheskogo opredeleniya kislotno-osnovnyih svoystv poverhnosti* [The theory and practice of metric definition of pH-metric definition of the acid and basic properties of a surface of firm bodies], Izdatelstvo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, Tomsk, Russian Federation, p. 85.
3. Chukin, G. D. (2008), *Himiya poverhnosti i stroenie dispersnogo kremnezema* [Chemistry of a surface and structure of the disperse silicon dioxide], Tipografiya Paladin, Moscow, Russian Federation, p. 172.
4. Kravchenko, A. A., Demyanenko, E. M., Grebenyuk, A. G., Lobanov, V. V. (2014), *Kvantovokhimichne modelyuvannya protolitychnoyi rivnovahy poverkhni kremnezemu* [Quantum chemical modelling of protolytic balance of the silicon dioxide surface], *Khimiya, fizyka ta tekhnolohiya poverkhni*, vol. 5, № 1, pp.16-22.
5. Danchenko, Yu. M., Popov, Yu. V., Kachomanova, M. P. (2016) *Vplyv termichnoyi obrobky na kyslotno-osnovni vlastyivosti poverhni dispersnyh poliminerálnykh materialiv* [Influence of heat treatment on the acid and basic the surface properties of dispersed poly-mineral materials], *Materials VI International research and practical conference, 23-24 match 2016, 'Effects organizational and technological solutions and energy-saving technologies in civil engineering'*, Kharkiv, Ukraine, pp. 29-30.

УДК 514.18:628

Мовчан С.И., Щербина В.М.*Таврический государственный агротехнологический университет***ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ УСТРОЙСТВ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ЖИВЫМ СЕЧЕНИЕМ**

Введение. – Согласно нормативно-правовых документов в водохозяйственном комплексе Украины использование воды регламентируется во всех отраслях промышленного производства. Наиболее жёстко обусловлено использование водных ресурсов для предприятий машиностроительного комплекса, приборостроения, в химическом производстве, отвечающих требованиям государственного стандарта Украины [1].

Влияние сточных вод промышленных предприятий на ухудшение экологической обстановки по Украине усиливается. Так, за последние 10-12 лет объём сточных вод от предприятий уменьшился с 400 млн. м³/год. до 290 - 400 млн. м³/год., а количество специфических загрязнений, которые сбрасываются, увеличилось [2].

Обоснование актуальности направления исследований. - По приближённым оценкам потребность в реконструкции и интенсификации в масштабах Украины составляет: 30% водозаборных, очистных соору-

жений и насосных станций, 40 000 км водопроводных сетей, 10 000 км канализационных сетей, 40% канализационных насосных станций и 25 % канализационных очистных сооружений [3].

При использовании воды в современном промышленном производстве возникает необходимость повышения интенсификации некоторых технологических операций и процессов. К таким составным составляющим элементам промышленного водоснабжения относят эжекторные, инжекторные устройства, первичные преобразователи расходов переменного перепада давления, скорости и другие аналогичные устройства [16].

Поэтому усовершенствование специальных устройств, используемых в системах оборотного водоснабжения, направленных на повышение уровня интенсификации систем в целом, является актуальным при использовании воды в промышленном секторе страны.

Водохозяйственное решение поставленной проблемы. - Расход свежей воды в Украине на единицу изготовленной продукции значительно превышает аналогичный показатель в развитых странах Европы: Франции – в 2,5 раза, ФРГ – в 4,3 раза, Великобритании и Швеции – в 4,2 раза. Украина занимает предпоследнее место по запасам питьевой воды на душу населения среди стран СНГ, поэтому рациональное потребление воды является жизненно необходимым [4].

Водоёмкость отечественного производства в среднем составляет 0,3 км³ на одну гривну готовой продукции, что значительно превышает аналогичные показатели в развитых европейских странах [5].

По Запорожской области и г. Запорожье показатели поданной воды в систему водоснабжения и пропущенной через очистные сооружения наглядно показывают, что 20-25% не поступают на очистные сооружения. Например, в 2014 г. количество воды в системе водоснабжения по Запорожской области было на уровне 131181 тыс. м³, пропущенных стоков через очистные сооружения - 101863 тыс. м³, что составляет 77,7% [6].

В водные объекты ежегодно сбрасывается около 3,9 км³ неочищенных сточных вод, 3,3 км³ нормативно чистых и только 1,3 км³ очищенных в соответствии действующих нормативов [6].

Таким образом, решение вопросов с усовершенствованием отдельных технологических операций и систем промышленного водоснабжения в полной мере подчёркивает водохозяйственное значение проблемы, которая состоит в повышении уровня интенсификации и надёжности систем промышленного водоснабжения.

Публикации по теме исследований. - Интерес к работе эжекторных устройств обусловлен рядом преимуществ, как самого устройства, так и процессов, в которых они используются (отсутствуют трущиеся детали и механизмы, оптимальная форма внутренней поверхности является рычагом управления и условием для достижения поставленной цели).

Приборы с различной линией внутренней поверхности используются во многих

отраслях техники и хозяйственной деятельности. Наиболее часто встречаются поверхности с неровной внутренней линией в первичных преобразователях, расходомерах переменного перепада давления, расхода и т.п. Приборы с сужающими устройствами, как стандартные, так и специальные, – важнейшие среди расходомеров переменного перепада давления [7].

Использование жидкостно-газовых эжекторов с прямолинейной камерой смешения имеет преимущества в сравнении с аналогичными конструкциями. Во-первых, прямолинейная камера более технологична для изготовления, что позволяет обеспечить стабильную работу устройства. Во-вторых, создаются условия для изменения технологических параметров в широком диапазоне. И, наконец, обеспечивается стабильная работа устройств с прямолинейной камерой смешения [8].

Исследование внутренней поверхности криволинейной насадки и насадки с произвольным профилем определяется за счёт меридиональной, тангенциальной и осевой скоростей течения степенной жидкости. Такой подход к решению важной практической задачи позволяет рассматривать сложные задачи движения различных технических жидкостей, водных растворов [9] и процессы, происходящие в этих и аналогичных устройствах.

Сравнительная оценка и выбор аэраторов для биологической очистки сточных вод проводится по обобщённому критерию аэрации (табл. 1), учитывающему коэффициент массопередачи кислорода, окислительную способность и эффективность аэрации [10].

Комплексная оценка аэраторов для биологической очистки сточных вод, представленная в таблице 3, наглядно показывает, что в сравнении с мембранными (фирма «Raubioxon») эжекторные устройства уступают [10].

Рассматриваемые альтернативные методы исследуются теоретически и экспериментально с помощью вычислительных методов имитационного моделирования гидродинамических процессов, основанных на системе уравнений Навье-Стокса.

Таблица 1 - Комплексная оценка аэраторов для биологической очистки сточных вод

Типы аэраторов, длина (L), высота слоя воды (H)	ОС/ среднее кг O ₂ /(м ³ ·час)	Е/ среднее кгO ₂ /(кВт ³ ·час)	К _п / среднее, час	Обобщённый критерий аэрации К _{аэр.}	Ранг
Эжекторные	0,70-0,120/0,95	менее 1,0/0,5	2,5-5,0/3,75	0,178	11
Raubioxon, H=3,6 м	3,73	6,38	41,81	995,0	1

Предлагаемые исследования вихревого эжекторного устройства с помощью прикладных программ позволяют определить влияние геометрических параметров на характеристики устройства и параметры потока в вихревой камере [11].

Однако рассматриваемые результаты исследования эжекторных и аналогичных устройств не в полной мере решают вопросы, связанные с повышением надёжности и эффективности работы систем промышленного водоснабжения.

Цель работы состоит в моделировании процесса течения жидких сред в устройствах с изменяющимся живым сечением с последующей разработкой алгоритма и методики построения внутренней поверхности.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ работы устройств с переменным сечением и обоснован выбор построения формы внутренней поверхности с переменным живым сечением.

2. Разработан алгоритм и методика построения внутренней поверхности устройств с переменным живым сечением.

Обсуждение результатов исследований. – Важным этапом эксплуатации водочистного оборудования является правильный выбор метода расчёта и проектирования рабочей поверхности, позволяющие дать оценку работоспособности всего аппарата.

При использовании верификационного математического аппарата, разработанного на основе таких подходов, получены поля течения газа в эжекторном реактивном сопле экспериментального двигателя [12].

Для построения внутренней поверхности эжекторных устройств использован дис-

кретно-параметрический метод геометрического моделирования кривых линий и поверхностей [13].

Диффузорные устройства, построенные с помощью такого способа, позволяют повысить степень смесеобразования и камер насыщения [14].

Перспективным направлением усовершенствования существующих и разработки новых устройств является построение внутренней поверхности, наиболее точно отображающей поток жидкой среды. Для конструкций данного типа наиболее близким техническим решением является построение профиля внутренней поверхности с переменным живым сечением с использованием геометрического метода серединных перпендикуляров [15].

Схема построения устройства с переменным живым сечением, внутренняя поверхность которого построена методом серединных перпендикуляров, представлена на рис. 1.

Представленная схема наглядно отображает форму канала устройства с переменным живым сечением, построенную с использованием метода сгущения точек дискретно представленной кривой (ДПК) на основе серединных перпендикуляров. Превышение точек сгущения построено с использованием опорных точек, наперёд заданных условиями технологического процесса. Для локальной сужающейся части устройства использованы опорные точки выпуклой ДПК, а для расширяющейся части - опорные точки вогнутой ДПК.

С помощью промежуточных точек определяется линия плавности конструктивных особенностей данного устройства, которая обеспечивает заданные параметры и характеристики движения потока жидкой среды.

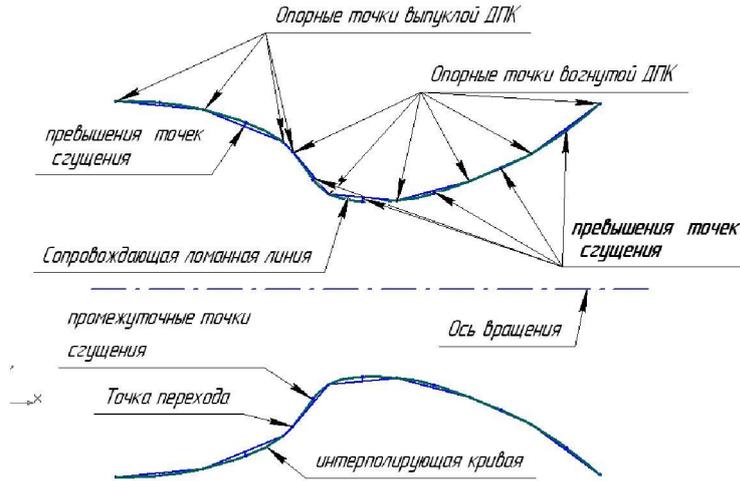


Рис. 1. Схема построения устройства с переменным живым сечением, внутренняя поверхность которого построена методом срединных перпендикуляров

Точка перехода (рис. 1) – является местом связи между звеньями локальных участков выпуклой и вогнутой линий.

Сопровождающая ломанная линия позволяет отслеживать характеристики контура внутренней поверхности устройства с переменным живым сечением до определённого, наперёд заданного, условия. Затем перенумеровываем полученные точки и повторяем расчет до условий $\varepsilon \geq 0$ – как угодно малого, наперед заданного числа (рис. 3).

Для наглядности использования методики выбора формы внутренней поверхности устройств с изменяющимся живым сечением рассмотрим фрагмент построения с помощью срединных перпендикуляров (рис. 2) на основе основного тождества (алгоритм приведен на рис. 3).

Фрагмент, построенный с помощью срединных перпендикуляров, приведен на рис. 2.

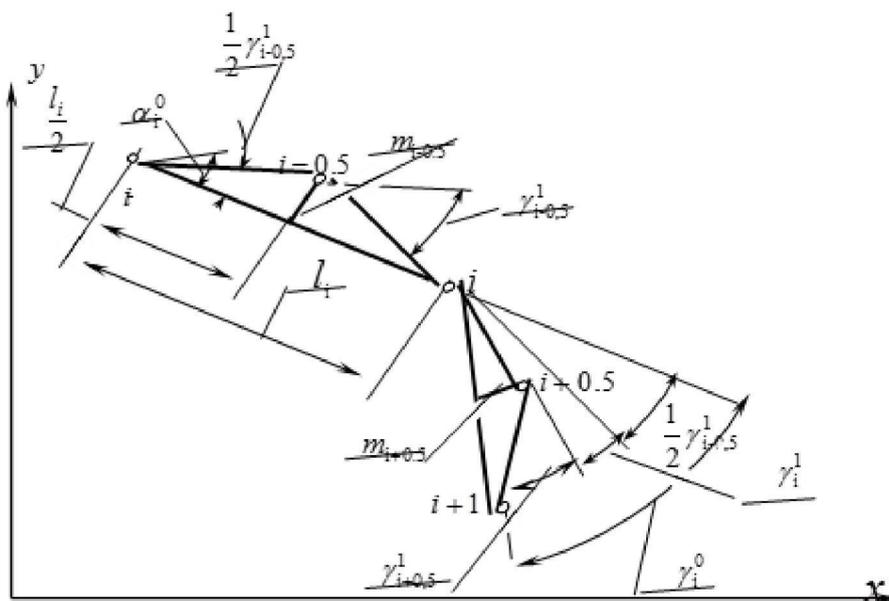


Рис.2. Фрагмент, построенный с помощью срединных перпендикуляров

Опорные точки $(i-1, i, i+1)$ – это точки, которые предусматривают конфигурацию контура внутренней рабочей поверхности устройства. Например, для построения промежуточных точек (на участке $i-1, i$), определяющих серединные перпендикуляры $(m_{i-0,5})$, которые образуются углами смежности $(\gamma_{i-0,5}^1)$ и сопровождающейся ломаной линией (l_i) .

Методика построения внутренней поверхности. – Построение внутренней криволинейной поверхности устройств с изменяющимся живым сечением состоит из следующих этапов:

1. Выбор одного из условий для решения разностной схемы сгущения СЛЛ.
2. Циклический расчёт сгущения точечного ряда с наперёд заданной погрешностью.
3. Анализ и уточнение рассчитанной

ДПК с возможностью локальной корректировки отдельных участков.

Предлагаемая методика состоит из трёх основных операций, позволяющих обеспечить получение внутренней поверхности, наиболее полно отображающей форму потока жидкости.

Алгоритм расчёта внутренней поверхности. – Для расчёта внутренней поверхности устройств с изменяющимся живым сечением используется следующий порядок (табл. 2).

Таким образом, алгоритм расчёта внутренней поверхности устройств с изменяющимся живым сечением состоит из трёх основных этапов, главным из которых является выбор определенного количества опорных точек и их координат для данной формы устройства.

Таблица 2 – Алгоритм расчёта внутренней поверхности устройств с изменяющимся живым сечением

Выбор объекта исследования	Анализ условий работы устройства, механизма, приспособления с рабочей внутренней поверхностью на участке с изменяющимся живым сечением.
Ввод данных (координаты опорных точек)	Исходные данные для расчёта внутренней поверхности
	Выбор варианта из рассматриваемых дополнительных условий и одной из систем решения на основании предлагаемых разностных схем (рис. 4).
	Выбор месторасположения (координат) опорных точек, позволяющих определить форму канала устройства или приспособления.
	Определение геометрических показателей интерполяции (точное построение), образующих криволинейные линии.
	Выполнение оценки полученного результата (геометрические координаты промежуточных точек) на определённом этапе.
	Перенумерование полученных точек и повторение расчета до $\varepsilon \geq 0$ – как угодно малого наперед заданного числа, при условии, когда предложенный вариант построения не удовлетворяет по одному из признаков (параметру).
Выход из программы расчёта	После достижения наперёд заданного условия (или технического параметра) считаем завершённым выполнение данного геометрического каркаса.
Примечание. 1. Алгоритм предусматривает, что на определённом этапе может быть выполнено редактирование (уточнение) определённых координат некоторых точек сопровождающей ломаной линии (СЛЛ). 2. Данный алгоритм расчёта позволяет производить геометрическое моделирование поверхностей различной сложности.	

Порядок построения криволинейной внутренней поверхности с изменяющимся живым сечением с помощью срединных перпендикуляров представлен схемой (рис. 3).

Основной алгоритм расчёта преду-

сматривает построение неосциллирующей кривой ДПК как в глобальной, так и в локальной системе координат, что является основой, проведения последующего проектирования разрабатываемой поверхности для соответствующих устройств.

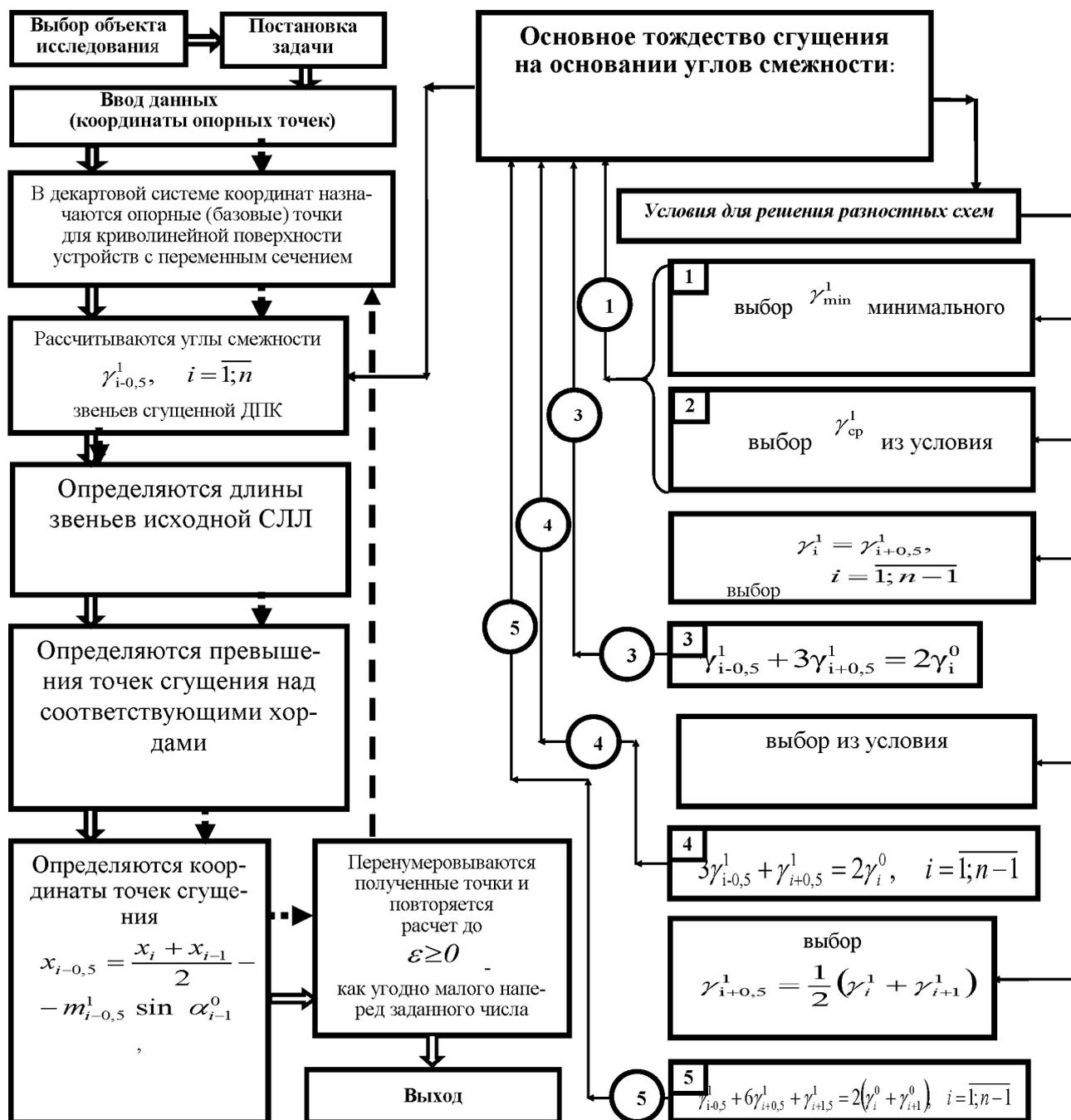


Рис. 3. Алгоритм расчёта процесса построения криволинейной внутренней поверхности с изменяющимся живым сечением с помощью срединных перпендикуляров:



основной алгоритм расчёта
перерасчет циклов
методы решения поставленной задачи

Согласно предлагаемой схеме (рис. 3) необходимо рассматривать несколько взаимосвязанных между собой процессов.

Под действием величины давления в различных сечениях устройства движение воды определяется следующей схемой в эжекторном устройстве (рис. 1).

Определяются координаты промежуточных точек сгущения, в случае необходимости цикл повторяется, до $\varepsilon \geq 0$ как угодно малого наперед заданного числа – это основной алгоритм расчёта.

Для перерасчета циклов необходимо повторить алгоритм, чтобы полученные значения отвечали заданным требованиям.

Для выполнения поставленной задачи алгоритма и решения тождества необходимо выбрать из предложенных условий решения разностных схем те (рис. 3), которые бы отвечали всему диапазону поставленной задачи.

Практическая реализация предлагаемой методики и алгоритма. Сравнительные габаритные размеры инжекторных устройств, построенных для двух вариантов, наведены на рис. 4.

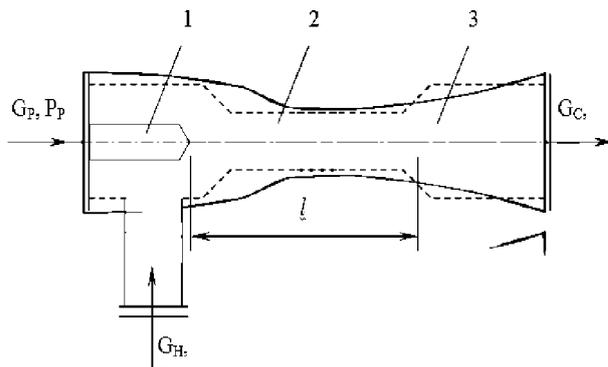


Рис. 4. Сравнительные габаритные размеры для двух вариантов устройств

1 – эжекторная насадка; 2 – камера смешения; 3 – диффузор.

пунктирная линия - конструкция устройства, полученная с помощью математических расчётов; **сплошная линия** – конструкция устройства, для построения которой использована методика срединных перпендикуляров.

линией) представлена конструкция устройства, полученная с помощью математических расчётов. Вторая конструкция устройства (сплошная линия) построена с использованием методики срединных перпендикуляров.

Предлагаемый алгоритм и методика расчёта позволяет не только оптимизировать форму внутренней поверхности устройств с переходным сечением, но и получить более эффективное устройство для выполнения некоторых специфических операций. В водоочистном оборудовании последнее используется в работе инжекторных устройств.

Для представленных конструктивных решений необходимо отметить следующие преимущества:

- при одинаковых габаритных размерах производительность устройства, построенного с использованием методики срединных перпендикуляров, на 10-15% больше, чем в других аналогичных конструкциях
- форма внутренней поверхности наиболее близка к коноидальной форме потока жидкой среды, проходящей через внутреннюю поверхность устройства.

Представленные сравнительные конструкции наглядно показывают следующие конструктивные отличия:

- предлагаемая форма внутренней поверхности устройства имеет оптимальные геометрические параметры и размеры;
- технологическая гибкость при обработке сточных вод с различными включениями механических примесей и размерами фракций, входящими в состав сточных вод и различных технических жидкостей.

Выводы и практические рекомендации.

Исследования, проведенные в рамках интенсификации работы систем оборотного водоснабжения, позволили обобщить и выявить следующие закономерности, характерные для работы отдельных её составляющих.

1. Предлагаемая форма построения внутренней поверхности устройств с переходным сечением позволяет в некоторых случаях исключить математический расчёт при определении основных геометрических параметров этих устройств.

2. Конструкция устройства с изменяющимся живым сечением криволинейной внутренней поверхности, для построения которой использована методика срединных перпендикуляров, является предпочтительной для разного рода жидкостей, имеющих различную гидравлическую крупность и характеризующихся агрессивностью одного из компонентов.

3. Применение разработанной конструкции криволинейной внутренней поверхности устройств с изменяющимся живым сечением при одинаковых габаритных размерах создаёт условия для более эффективного растворения компонентов, входящих в состав водного раствора.

4. Использование разработанной конструкции устройства позволяет всего за 3-5 мин при температуре 18-20 °С и давлении 0,10 – 0,12 МПа производить эффективное растворение. На выходе образуются пузырьки газовой фазы крупностью 20-60 мкм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання [Електронний ресурс]: наказ МОЗ України від 23. 12. 96, №383. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0136-97>.
2. Филипчук В.Л. Природоохоронні системи очистки та використання багатоконпонентних стічних вод із важкими металами: Автореф. дис. докт. техн. наук: 21.06.01 – екологічна безпека / Віктор Леонідович Филипчук. - Донецьк, 2008. – 35 с.
3. Василенко А.А. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: Учебное пособие/ А.А. Василенко, П.А. Грабовский, Г.М. Ларкина, А.В. Полищук, В.И. Прогульный. - Киев-Одесса, КНУ-СА, ОГАСА, 2007. – 307 с.
4. Гончарук В.В. Контроль качества воды. Новые государственные стандарты для определения токсикологических показателей [Электронный ресурс] / В.В. Гончарук [и др.] // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. - №5. – С.63 – 70. Режим доступу: http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/khtv/2010_5/pdf/01goncharuk.pdf.
5. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) / За науковою редакцією М.І. Ромашенка, М.А. Хвесика, Ю.О. Михайлова. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) – К.; 2015. – 46 с.
6. Основні показники роботи водопровідного господарства Запорізької області за 2014 р.: статист. збірник / Держстат України, ГУ статистики в Запоріж. обл. Відповідальний за випуск Г.В. Толстуха - Запоріжжя, 2015. – 46 с.
7. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счётчики количества / П.П. Кремлёвский: Справочн. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 701 с.
8. Козлов Д.А. Математическая модель жидкостно-газового эжектора с прямолинейной камерой смешения/ Д.А. Козлов, А.В. Павлов, В.М. Ящук. Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 1 (61)/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 148 с. – (Сер. Реология, процесс. и аппарат. хим. технол. Вып. 3). С.8 -11.
9. Никулин И.А. Определение меридиональной, тангенциальной и осевой скоростей течения степенной жидкости по внутренней поверхности криволинейной насадки и насадки с произвольным профилем / И.А. Никулин, А.Б. Голованчиков, А.В. Кузнецов, П.В. Мишта//Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 1 (61)/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 148 с. – (Сер. Реология, процессы и аппараты химической технологии. Вып. 3). С.26-31.
10. Серпокрылов Н.С. Сравнительная оценка аэраторов для очистки сточных вод по обобщенному критерию аэрации / Н.С. Серпокрылов, А.С. Смоляниченко, И.И. Лесников //Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура, 2011. №2 – С.97-100.
11. Михалев К. А. Моделирование течений в вихревых устройствах с помощью программных комплексов вычислительной гидродинамики К. А. Михалев, А. Н. Шельпяков // Вестник ИжГТУ. 2013. № 3(59). – С. 10-13.
12. Лапотко В.М. Метод расчёта эжекторных реактивных сопел/ В.М. Лапотко, Ю.П. Кухтин. Вестник двигателестроения № 3. 2009. – С. 62-66.
13. Верещага В.М. Дискретно-параметрический метод геометрического моделирования кривых линий и поверхностей: Дисс... д-ра техн. наук: 05.01.01. - Мелитополь, 1996. - 320 с.
14. Мовчан С.И. Интенсификация работы камер насыщения аппаратов очистки сточных вод промышленных предприятий / С.И. Мовчан, В.М. Щербина, А.С. Карагяур // Науковий вісник будівництва. – Харків, 2007. – Вип. 43. - С. 206 - 212.

15. Щербина В.М. Моделирование спиралеобразных дискретно представленных кривых/ Виктор Михайлович Щербина [Текст]: Дис. ... к.т.н.: 05.01.01 – прикладная геометрии, инженерная графика. Научн. конс. д.т.н. В.М. Найдыш. ТГАТА. – Мелітополь, 2002. – 139 с.
16. Мовчан С.І. Інтенсифікація системи оборотного водопостачання як запорука екологічної безпеки водних об'єктів / С.І. Мовчан. Соціальні та екологічні технології: актуаль-

ні проблеми теорії і практики» матеріали VIII Міжнародна інтернет – конференція 8-9 червня 2016 р. Електронний ресурс; редкол.: Фурса В.О. [секретар оргкомітету], Корнієнко К.О. [упорядник збірника], Павленко С.С. [коректор текстів], КГ – studie [дизайн макету] Мелітопольський інститут екології і соціальних технологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна». м. Мелітополь, 2016.– С. 89-95.

УДК 628.543

Юрченко В.О.,

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Михайленко В.Г., Антонов О.В.

Институт проблем машиностроения им. А.М. Подгорного НАН Украины

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАГЕНТНОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО УМЯГЧЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНЫХ ВОД

Умягчение воды - извлечения из воды солей Ca^{2+} и Mg^{2+} в водоподготовке - является одним из самых распространенных процессов обработки воды в промышленности. Наиболее часто умягченная вода используется для питания парогенераторов и теплосетей, в теплообменных аппаратах, в пищевой промышленности, в промышленности синтетических волокон и в других отраслях. Особенно это важно при подготовке воды для котлов, так как позволяет уменьшить расход топлива, увеличить срок службы парогенераторов между ремонтами и, в конечном счете, повысить экономичность их работы [1, 2].

Относительно селективное удаление солей жесткости из воды может производиться различными методами: физическими (дистилляция, вымораживание, электродиализ, баромембранными, магнитно-ионизационными методами, магнитной обработкой и др.), химическими реагентными (известкование, известково-содовым, содово-натриевым и другими методы), физико-химическими (ионообменный катионитный). Выбор метода умягчения воды определяется ее качеством, необходимой глубиной умягчения и технико-экономическими показателями [2-6].

В энергетике и промышленности для умягчения большого количества воды в виду низкой себестоимости широко применяют реагентные методы как первую ступень очистки до механических фильтров. Недостатком данного способа умягчения является низкая скорость фильтрования осадков. Поэтому способ применяют на объектах, где есть возможность постройки и размещения больших резервуаров для отстаивания воды. Кроме того в результате такого умягчения воды повышается ее минерализация и образуются трудно утилизируемые шламы [2].

Электрохимический метод умягчения воды (относительно новый для объектов теплоэнергетики) основан на процессах электролиза, поляризации, электрофореза, окислительно-восстановительных реакциях с деструкцией органических веществ и инактивацией биологических загрязнений, которые происходят при прохождении воды через межэлектродное пространство. Продукты электролиза взаимодействуют друг с другом с образованием нерастворимых солей [7]. Основным недостатком этого метода является высокая стоимость оборудования - электродов (анода), изготавливаемых из драгоценных металлов.