

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Е. А. Урецкий¹, А. П. Дарманян², В. В. Мороз³

¹ Московский государственный проектный институт (МГПИ) (на момент проведения исследований), Москва, Россия, euretsky@yandex.by

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия, adarma@inbox.ru

³ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, vovavall@mail.ru

Аннотация. Проведены исследования на реальных сточных водах и на основании их разработан зонированный химический аппарат со статическим вихревым смесителем для проведения физико-химических процессов. Аппарат позволяет совместить в одном объёме проведение нескольких технологических процессов и многократно снизить металло- и энергоёмкость необходимого оборудования.

Ключевые слова: pH, химический реактор, технологические трубопроводы, мешалки, гидродинамика, реагенты.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR INDUSTRIAL PROCESSES OF WASTE WATER PURIFICATION BY THE REAGENT METHOD

E. A. Urecky, A. P. Darmanyanyan, V. V. Moroz

Abstract

Investigations were carried out on real wastewater, and on the basis of them a zoned chemical apparatus with a static vortex mixer for carrying out physicochemical processes was developed. The device allows you to combine in one volume the implementation of several technological processes and repeatedly reduce the metal and energy intensity of the necessary equipment.

Keywords. pH, chemical reactor, process pipelines, agitators, hydrodynamics, reagents.

Введение. Наиболее приемлемым видом оборудования для ведения процессов реагентной очистки являются типовые емкостные аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Тем не менее, технологические возможности стандартной химической аппаратуры не учитываются. Во внимание принимается лишь объем аппаратов, позволяющий выдерживать стоки в соответствии с нормативным интервалом времени [1, 2, 3, 4].

Характерными ошибками при подборке и обвязке химических аппаратов с перемешивающими устройствами являются:

- подбор оборудования без учета кинетики химических процессов;

- игнорирование гидродинамических возможностей химической аппаратуры;
- неправильная обвязка реакторов технологическими трубопроводами;
- непродуманные точки ввода сточных вод и реагентов в химический реактор;
- размещение чувствительных элементов (систем автоматического регулирования) САР вне активных зон реактора;
- отсутствие учета инерционностей САР.

Все указанные ошибки резко ухудшают эффективность использования стандартной химической аппаратуры и приводят к высокой металло- и энергоёмкости технологических линий. Эффект очистки также ниже ожидаемого.

Реальные пути устранения этих ошибок авторами статьи показаны ранее в [5, 7, 9]. Но так как игнорирование гидродинамических возможностей химической аппаратуры приводит к резкому снижению эффективности её работы, то более подробно остановимся на этом факте.

Так на базовом предприятии была изучена структура потоков в аппаратах с якорными мешалками на стандартных аппаратах объемом 25 дм³, 2,0 м³, 2,5 м³, 5,0 м³, 6,3 м³ при различных способах подачи и вывода жидкости из аппарата. Для оценки структуры потоков жидкости на основе полученных экспериментальных кривых отклика [5, 7, 9] были использованы известные модели идеального перемешивания, идеального смешения с застойной зоной, ячеечная модель с рециклом, двух ячеечная модель с ячейками неравного объема и циркуляцией и более сложные модели – двухзонная диффузионная и циркуляционная с застойной зоной. Схема одноконтурной циркуляционной модели показана на рисунке 1.

Результаты и обсуждение. Наилучшее соответствие экспериментальным данным, полученным на аппаратах различного масштаба, показала рециркуляционная модель со следующими параметрами: $\varphi=0,3$, $r_z=10^{-3}$, причем, ясно доказано существование в них застойных зон [7]. Увеличение расхода жидкости во всех случаях улучшает перемешивание и приближает модель структуры потоков к идеальному перемешиванию. На основе проведенных экспериментальных исследований в качестве математической модели структуры потоков предложена следующая система уравнений:

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_1}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} [C_0 - rC_n - (1+r)C_1 + r_z(C_{n+1} - C)] \\
 \frac{dC_2}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} (1+r)(C_1 - C_2) \\
 \frac{dC_p}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} (1+r)_z (C_{p+2} - C_{p+1}) \\
 \frac{dC_{p+1}}{d\Theta} &= \frac{nr}{1-\varphi} (C_{p+1} - C_{p+2}) \\
 \frac{dC_{n+1}}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} [r(C_{n-1} - C_n) + r_z(C_{n+1} - C_n)] \\
 \frac{dC_{n+1}}{d\Theta} &= \frac{r_z}{\varphi} (C_1 + C_n - 2C_{n+1})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $t/\bar{\tau}$ – безразмерное время, $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания, C_1 – безразмерная концентрация; C_0 – безразмерная концентрация во входящем потоке.

Параметрами модели являются: n – общее число ячеек перемешивания, p – число ячеек идеального перемешивания в периферийной зоне, $r = q_r/q_v$ – доля потока рециркулирующей жидкости, φ – доля застойной зоны в аппарате, $r_z = q_z/q_v$ – доля обменного потока.

Анализ найденных параметров модели показал, что при малых расходах жидкости справедливы следующие значения $n = 2$, $r = 1,1$, $\varphi = 0,3$, $r_z = 10^{-3}$, причём, ясно доказано существование застойных зон в аппарате.

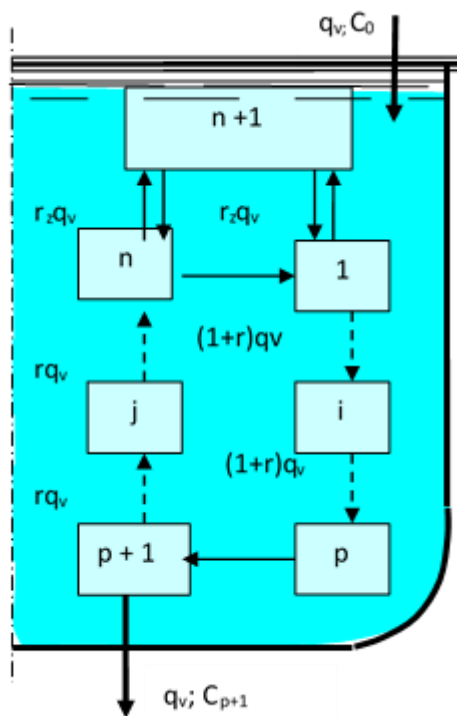


Рисунок 1 – Схема одноконтурной циркуляционной модели

Увеличение расхода жидкости во всех случаях улучшает перемешивание и приближает модель структуры потоков к идеальному перемешиванию. При расчете химических реакторов наряду с данными по кинетике химических реакций и структуре потоков аппарата необходимо учитывать уровень смешения.

Различают два предельных состояния: полная сегрегация (ПС) и максимальная смешанность (МС). Расчет превращений вещества для этих предельных состояний перемешиваемой среды в случае реакции второго порядка дает существенную разницу превращения вещества, достигающую на выходе 7%, что показано графически на рисунке 2.

Для определения технологических условий, при которых достигается состояние ПС, обеспечивающее более высокое превращение вещества, была создана лабораторная установка, на которой были проведены эксперименты с использованием модельной реакции омыления ацетата [7]:



Данная реакция относится к реакции второго порядка с константой:

$$K = 2,635 \cdot 10^7 \cdot \exp \left[- \frac{11400}{RT} \right], \text{ л/моль} \cdot \text{сек} \quad (3)$$

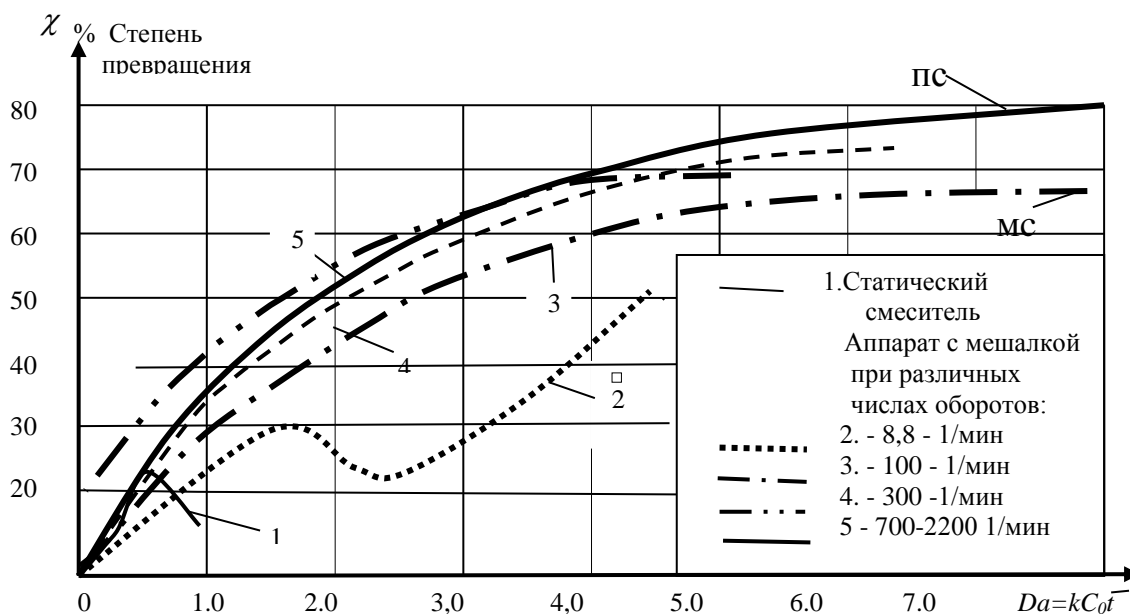


Рисунок 2 – Зависимость степени превращения реагентов от числа Дамкеллера ($Da = kCot$)

Полученные значения превращения вещества приведены на рисунке 2. Отсюда видно, что только при определенных числах оборотов ($n \geq 700$ об/мин) или при определенном расходе реагентов ($Da \approx 1$ при $n = 8,8$ об/мин) имеет место состояние полной сегрегации. Т.е. достигается максимум превращения вещества и полностью исключаются проскоки не прореагировавшего вещества на выход. Это состояние и является наиболее благоприятным для проведения быстрых химических реакций, к которым относятся реакции нейтрализации, гидролиза к восстановлению хрома (VI).

Экспериментальные исследования по микро перемешиванию показали, что превращение вещества, соответствующее полной сегрегации, может быть достигнуто в аппаратах с мешалками при подаче реагентов и сточных вод в зону интенсивного перемешивания (на края лопастей) либо в комбинированном аппарате, состоящем из последовательно соединенных статического смесителя и типового аппарата с перемешивающим устройством.

В качестве аппаратного оформления процесса реагентной очистки могут быть приняты оба варианта [5, 6, 7]. Расчет производительности аппарата

заключается в определении времени пребывания химических реагентов, обеспечивающего заданное превращение вещества. Как известно, степень превращения вещества зависит от скорости химических реакций, модели структуры потоков и от качества смешения реагентов на молекулярном уровне. В состоянии полной сегрегации, когда потоки химических реагентов и обрабатываемых сточных вод смешиваются на входе в аппарат и остаются сегрегированными до выхода, долю не прореагировавшего вещества можно определить по формуле:

$$\frac{C_v}{C_0} = \int_0^{\infty} \left(\frac{C_v}{C_0}\right)_{\text{неп}} * dF, \quad (4)$$

где C_v/C_0 – кинетическая зависимость, полученная в аппарате периодического действия; dF – функция распределения времени пребывания, полученная при изучении реакции системы на ступенчатое или импульсное возмущение.

Интерпретация данного выражения в графической форме позволяет определить необходимое значение (C_v/C_0). Учитывая ранее полученные данные о микроперемешивании, можно считать, что при предварительной гомогенизации потоков в устройствах различных типов в аппарате имеет место состояние полной сегрегации [5].

Применение этого выражения при различных значениях рН среды с использованием полученных ранее кинетических кривых для реакции восстановления хрома шестивалентного и для модели структуры потоков аппарата идеального перемешивания:

$$F(t) = 1 - e^{-t/\bar{\tau}}, \quad (5)$$

которому отвечают аппараты с пропеллерными и якорными мешалками, позволяет получить решение интеграла в графическом виде.

Так как степень очистки сточных вод соответствует $C/C_0 \leq 0,01$, то из рисунка 3 следует, что при рН = 4,5 это имеет место в аппарате со средним временем пребывания 2–5 мин, а при рН = 5,0 при $\bar{\tau} = 10$ мин.

Для любого значения рН среды можно рассчитать необходимое время пребывания смеси, а производительность аппарата определить по формуле:

$$q_v = \frac{V \cdot \varphi}{\tau}, \quad (6)$$

где φ – коэффициент заполнения аппарата, V – номинальный объем аппарата.

Таким образом, можно определять производительность реакторной части установки для любого рН среды и выбранного объема аппарата.

Так, на базовом объекте появилась возможность высвободить более 80% химических аппаратов, установленных по проекту, при одновременном увеличении нагрузки на оставшиеся более, чем в 3 раза [5].

Для эффективного смешения реагентов с обрабатываемой сточной жидкостью, а также с целью увеличения производительности установки за счет снижения времени пребывания смеси было разработано устройство для проведения физико-химических процессов, показанное на рисунке 4 [11].

Устройство для проведения физико-химических процессов смонтировано на ОАО «БЭМЗ», действует следующим образом. Смесь промывных сточных вод, содержащих хром и лакокрасочные материалы (ЛКМ) 10, через подводящий патрубок 13 подается в нижнюю зону 8 корпуса устройства 1. Нижняя зона 8 представляет собой реактор-смеситель.

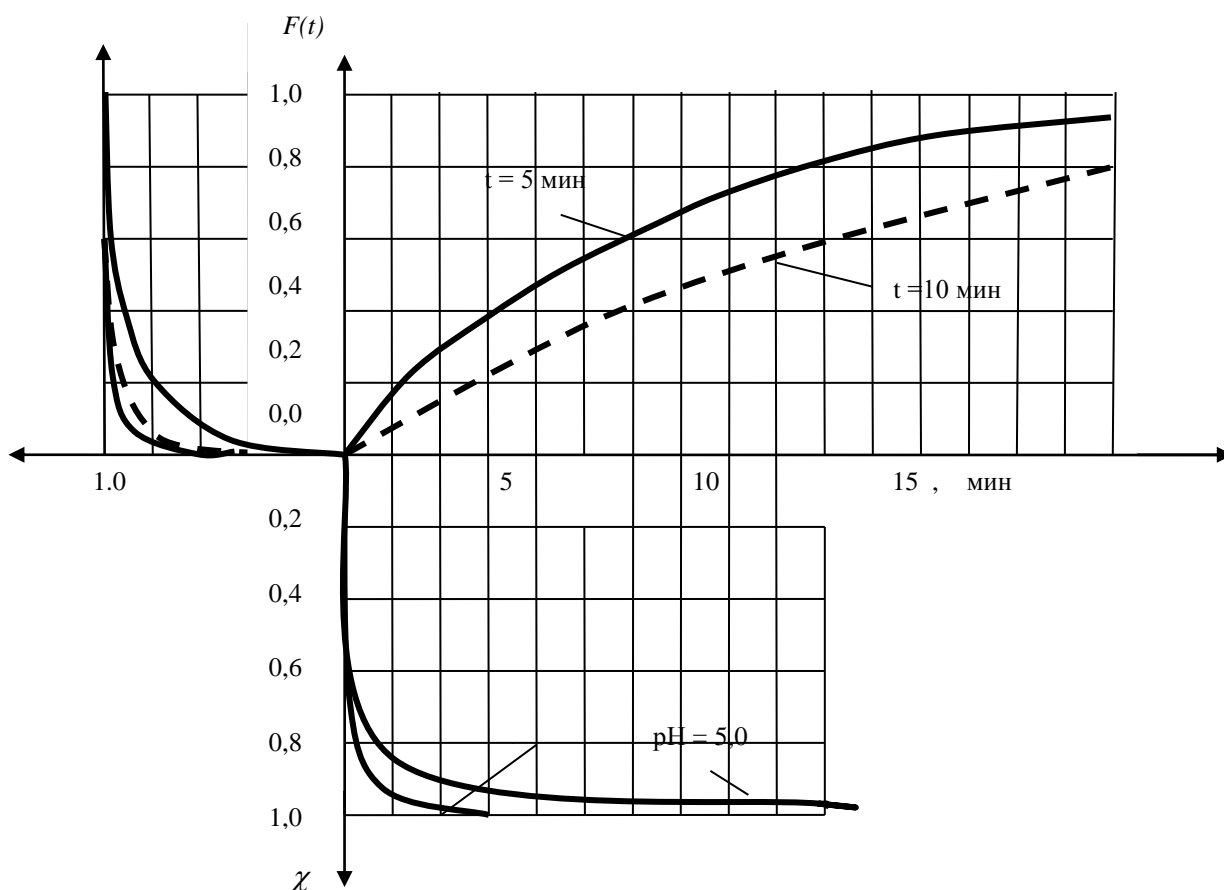
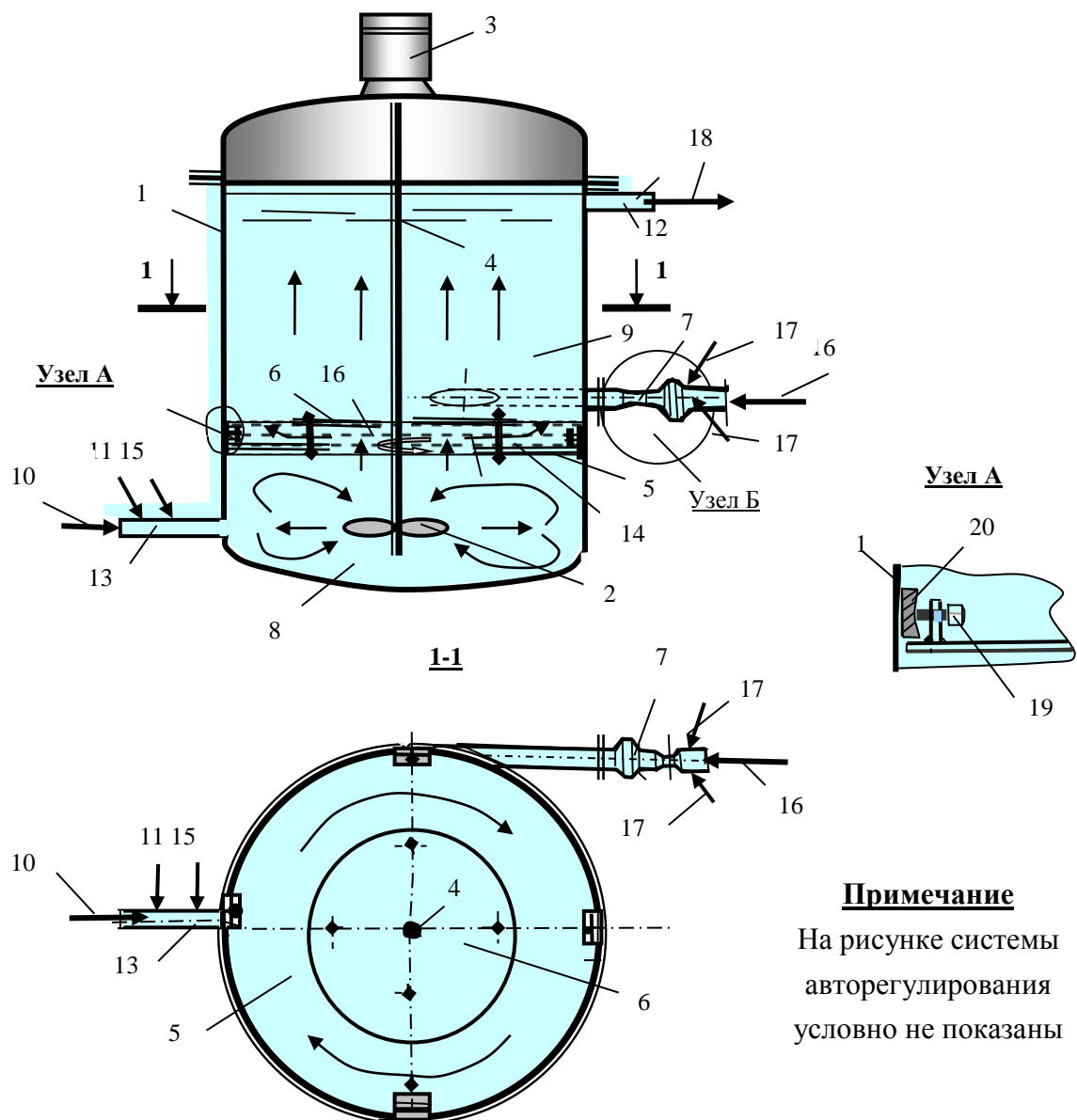


Рисунок 3 – Графический расчёт степени превращения в проточном реакторе

В эту же зону также направляется реагент – восстановитель (бисульфит натрия) 11 и раствор кислоты 15. Перемешивание обрабатываемой смеси в ней осуществляется быстроходной пропеллерной мешалкой 2.



Примечание

На рисунке системы авторегулирования условно не показаны

Рисунок 4 – Устройство для проведения физико-химических процессов (Пат. на полезную модель ВУ 10812)

- 1 – корпус, 2 – пропеллерная мешалка, 3 – двигатель с редуктором;
- 4 – вал; 5 – нижняя кольцевая перегородка; 6 – верхняя кольцевая перегородка, 7 – вихревой смеситель (Пат. №4810), 8 – нижняя зона (реактор-смеситель), 9 – верхняя зона (реактор-вытеснитель и камера хлопьеобразования), 10 – смесь хром- и ЛКМ - содержащих сточных вод, 11 – бисульфит натрия (NaHSO_3), 12 – отводящий патрубок, 13 – подводящий патрубок, 14 – промежуточная зона, 15 – кислый раствор; 16 – подача сточных вод на нейтрализацию; 17 – нейтрализующий раствор; 18 – отвод нейтрализованных сточных вод. 19 – прижимной болт; 20 – пластина.

В этой зоне в кислой среде осуществляется восстановление шестивалентного хрома до трёхвалентного и деструкция части органических загрязнений сточных вод, содержащих ЛКМ. Из зоны 8 по мере поступления в неё сточной жидкости обработанная смесь передавливается в промежуточную

плоскопараллельную зону 14, которая находится между верхней 6 и нижней 5 горизонтальными кольцевыми перегородками. Вращение жидкости 16 в этой зоне осуществляется жидкостью зоны 8. Далее из зоны 8 кислая смесь жидкости направляется в верхнюю зону 9 на нейтрализацию и хлопьеобразование.

Верхняя зона аппарата 9 связана с вихревым смесителем 7, посредством которого в неё тангенциально подается предварительно смешанный с нейтрализующим раствором поток кислотно-щелочных сточных вод 16.

Эта зона совмещает в себе реактор-вытеснитель и хлопьеобразователь.

Дополнительное смешивание сточных вод в ней осуществляется как за счёт тангенциального ввода обрабатываемой смеси 16, так и вращающегося верхнего слоя жидкости, поступающей из промежуточной зоны 14 в зону 9. Обработанная в зоне 9 сточная вода с сформированными хлопьями через отводящий патрубок 12 направляется в осветлитель.

На данное техническое устройство получен патент на полезную модель «Устройство для проведения физико-химических процессов» [11]. Использование этой предлагаемой конструкции позволяет сократить до минимума количество технологического оборудования (смесители, реакторы, камеры хлопьеобразования) за счёт объединения их функций в одном объёме без уменьшения эффективности и производительности и не менее, чем вдвое снизить металло- и энергоёмкость, а также уменьшить потребность в производственных площадях для его размещения.

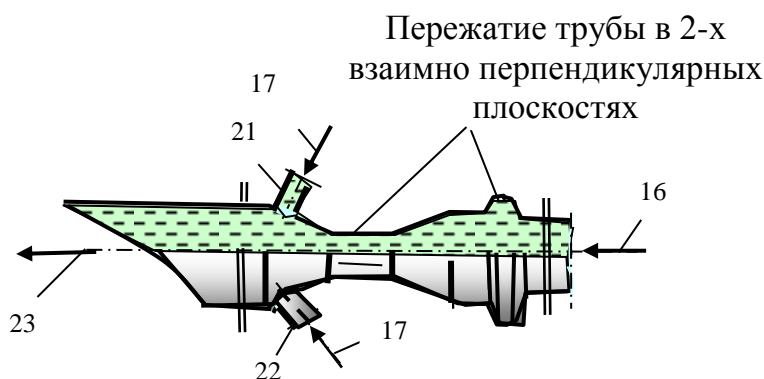


Рисунок 5 – Узел Б. Фрагмент вихревого смесителя
(патент на полезную модель ВУ 4810)

16 – подача сточных вод на нейтрализацию 17 – нейтрализующие растворы; 21, 22 – патрубки для ввода реагентов; 23 – подача сточных вод в устройство для проведения физико-химических процессов

Устройство представляет из себя зонированный стандартный химический аппарат. Для предварительной гомогенизации потоков, поступающих в реактор, оно дооборудовано вихревым смесителем. Вихревой смеситель (патент на полезную модель ВУ 4810 показан на рисунке 5 [10].

Согласно рисунку 5, поток сточных вод 16, подлежащий обработке, поступает во входной тангенциальный патрубок (вихревой смеситель), который сплюснен в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Поток воды, проходя через сжатые овальные сечения и ускоряется и приобретает винтовой характер, чем достигается интенсивное смешение в полном объеме жидкости на выходе.

Непосредственно перед входом в корпус 1 через насадки 21, 22, расположенные под углом к боковым сжатым сечениям, вводятся реагенты. Далее смесь сточных вод и реагентов поступает в цилиндрическую камеру смешения 2, которая представляет собой статический смеситель, в котором завершается процесс перемешивания сточных вод и реагентов.

Как показали исследования, проведенные соавтором патента доцентом БрГТУ Дмухайло Е.И., степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод при последовательном прохождении их через входной тангенциальный патрубок 7 в верхнюю зону устройства 9 – не менее 95%. Практически совокупность этих стадий перемешивания при широком спектре расходов сточных вод и реагентов приближается к идеальному смесителю.

Заключение. Расчеты, произведенные по специально составленным программам, показали, что в стандартных аппаратах с перемешивающими устройствами при незначительных доработках по рекомендациям авторов можно резко интенсифицировать процессы обезвреживания промышленных сточных вод. При этом время пребывания обрабатываемых стоков сокращается в 8–10 раз против установленных нормативными документами и ТУ [7, 8, 9].

Таким образом, на базовом объекте появилась возможность высвободить 7 химических аппаратов из 9 установленных по проекту при одновременном увеличении нагрузки на оставшиеся более, чем в 3 раза.

Список цитированных источников

1. Degremont. Справочник по обработке воды : в 2-х т. пер. с фр. – СПб. Новый журнал. – 2007. – 1696 с.
2. Очистка промышленных сточных вод : пер. с нем. – СПб: Новый журнал. – 2012. – 384 с.
3. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / ДАНСЕЕ, отдел по Восточной Европе. – Копенгаген. – 2001. – 253 с.
4. Новый справочник химика. Ч II. – СПб : НПО. «Профессионал». Процессы и аппараты химических технологий. МММ. – 2006. – 916 с.
5. Разработка и внедрение новой бессточной и безотходной технологической системы водного хозяйства защитных покрытий приборо- и машиностроения. Т. 1. Материалы, выдвинутые на соискание Премии Совмина СССР в области науки и техники. М. – 1989.
6. Дарманян, А. П. Исследование структуры потоков с якорными мешалками / А. П. Дарманян, С. Н. Романов, Е. А. Урецкий, О. А. Тишин // Материалы всесоюзной конференции. – 1985. – Харьков.

7. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография / Е. А. Русецкий. – Брест : Изд-во БГТУ. – 2007. – 396 с.
8. Гогина, Е. С. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения / Е. С. Гогина, А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий // Справочное пособие. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов РФ. – 2012. – 312 с.
9. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография / Е. А. Урецкий. – Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. – 2014. – 360 с.
10. Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Е. И. Дмухайло. Вихревой аппарат: пат. 4810 Респ. Беларусь / ; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20080317 ; заявл 16.04.2008 ; опубл. 04.08.2008 / Гос. реестр полезн. моделей.
11. Е. А. Урецкий, В. В. Мороз. Устройство для проведения физико-химических процессов : пат. /; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20150026 ; заявл 26.01.2015 ; опубл. 19.03.2015 / Гос. реестр полезн. моделей. 2007. 1696 с.

УДК 811.161.3'37

**ФРАЗЕОЛАГІЧНЫЯ АДЗІНКІ З КАМПАНЕНТАМІ-ФІТОНІМАМІ
Ў БЕЛАРУСКАЙ МОВЕ:
СТРУКТУРНА-СЕМАНТЫЧНЫ АСПЕКТ**

Ю. М. Чагайда

УА «Брэсцкі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт», Брэст, Беларусь,
chagaida@lenta.ru

Анотацыя

Артыкул прысвечаны даследаванню фітанімічных фразеалагічных адзінак беларускай мовы – устойлівых спалучэнняў слоў, адным з кампанентаў якіх з'яўляецца фітонім (найменне раслін або іх часткі). У рабоце таксама праведзена структурна-семантычная класіфікацыя фразеалагізмаў.

Ключавыя словы: фразеалагічная адзінка, фітонім, намінацыя, найменне раслін, канатацыя, культурны кампанент.

**PHRASEOLOGICAL UNITS WITH COMPONENTS-PHYTONYMS
IN THE BELARUSIAN LANGUAGE:
STRUCTURAL AND SEMANTIC ASPECT**

Yu. N. Chagaida

Abstract

The article is devoted to the study of phytonymic phraseological units of the Russian language-stable combinations of words, one of the components of which is a phytonym (the name of plants or their parts). The paper also provides a structural and semantic classification of phraseological units.

Keywords: phraseological unit, phytonym, nomination, plant name, connotation, cultural component.