

УДК: 66.021

### ЧИҚИНДИ ЭРИТМАЛАРДАН ЦИАНИД НАТРИЙНИ РЕГЕНЕРАЦИОН АЖРАТИБ ОЛИШДА УЮРМАЛИ АППАРАТЛАРНИ ҚЎЛЛАШ САМАДОРЛИГИНИНГ ТАЖРИБАВИЙ ТАДҚИҚОТЛАРИ

**Бахронов Хошим Шайимович,**

техника фанлари доктори, «Кимё технология» кафедраси профессори;

**Ахматов Абдумалик Абдувахобович,**

докторант;

**Кадиров Ёрқин Баходирович,**

«Автоматлаштириш ва бошқарув» кафедраси доценти

Навоий давлат кончилиқ институти

**Суярова Хилола Хакимовна,**

«Кимё ва экология фанларини ўқитиш методикаси» кафедраси,  
катта ўқитувчи

Навоий давлат педагогика институти

***Аннотация.** Ушбу мақолада чиқинди эритмалардан цианидли натрийни регенерация йўли билан ажратиб олишда уюрмавий аппаратларни қўллашнинг самарадорлиги бўйича тадқиқот натижалари келтирилган. Чиқинди эритмалардан  $\text{NaCN}$ ни анъанавий регенерация қилиш технологиялари билан солиштирганда, уюрмалий аппаратларнинг юқори самарали эканлигини белгиловчи асосий устунликлари ва омиллари муаллифлар томонидан келтирилган. Шу билан бирга, мақолада уюрмавий аппаратларнинг устунлигини кўрсатувчи тадқиқот натижалари ҳам ёритилган. Тадқиқотларга кўра, дастлабки боғланишлар конверсияси ўртача ҳажмий тезлиги оддий барботажли колонналарникига қараганда 40-60 марта юқори кўрсатилган.*

***Калит сўзлар:** уюрмалий аппарат, десорбер, десорбция, иссиқлик ташувчи, циан, суюқлик – газ.*

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИАНИСТОГО НАТРИЯ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ

**Бахронов Хошим Шайимович,**

доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология»;

**Ахматов Абдумалик Абдувахобович,**

докторант;

**Кадиров Ёрқин Баходирович,**

доцент кафедры «Автоматизация и управление»

Навоийский государственный горный институт

**Суярова Хилола Хакимовна,**

старший преподаватель кафедры «Методика преподавания химии и экологии»

Навоийский государственный педагогический институт

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты исследования эффективности применения вихревых аппаратов для регенерационного извлечения цианистого натрия из отработанных растворов. Авторами подчеркнуты основные преимущества и факторы, объясняющие более высокую эффективность вихревых аппаратов по сравнению с традиционными технологиями регенерации NaCN из отработанных растворов. В работе также освещаются результаты экспериментов, согласно которым средняя объемная скорость конверсии исходных соединений в 40-60 раз выше, чем в обычных барботажных колоннах, что наглядно показывает преимущество вихревых аппаратов.

**Ключевые слова:** вихревой аппарат, десорбер, десорбция, теплоноситель, циан, жидкость – газ.

## AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF VORTEX APPARATUS FOR REGENERATIVE EXTRACTION OF SODIUM CYANIDE FROM SPENT SOLUTIONS

**Bakhronov Khoshim Shayimovich,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology;

**Akhmatov Abdumalik Abduvahobovich,**

Doctoral student;

**Kadirov Yorkin Bakhodirovich,**

Associate Professor, Department of Automation and Control

---

Navoi State Mining Institute

**Suyarova Khilola Khakimovna**

Senior Lecturer, Department of Methodology of Teaching Chemistry.

---

Navoi State Pedagogical Institute

**Abstract.** The article presents the results of the study on the effectiveness of the use of vortex apparatuses for the regenerative extraction of sodium cyanide from spent solutions. The authors emphasize the main advantages and factors explaining the higher efficiency of vortex devices compared with traditional technologies for the regeneration of NaCN from spent solutions. The study also highlights the results of experiments according to which the average volumetric conversion rate of the starting compounds is 40-60 times higher than in conventional bubble columns, which clearly shows the advantage of vortex devices.

**Keywords:** vortex apparatus, stripper, desorption, heat carrier, cyan, liquid – gas.

### Введение

Анализ литературных данных и патентных источников, посвященных проблемам очистки цианидсодержащих растворов золотоперерабатывающих предприятий, свидетельствует о перспективности регенерационных технологий очистки отработанных растворов и сточных вод. При этом применение регенерационной технологии, включающей, как правило, стадии десорбции (отдувки) из подкисленного раствора цианистоводородной кислоты и абсорбции последнего гидроксидом натрия, проявило себя как наиболее эффективное с точки зрения экологичности, безопасности и относи-

тельно других методов утилизации. В связи с этим целью данного исследования является интенсификация указанных процессов посредством применения высокоэффективного массообменного аппарата и изучение процессов, происходящих в поле центробежных сил.

Основным условием эффективной работы контактных аппаратов является высокая степень контакта между газом и жидкостью, что достигается оформлением аппарата в виде колонны с насадкой, практически не отличающейся по конструкции от абсорбционных аппаратов. В качестве теплообменников смешения могут использоваться, помимо аппа-

ратов с насадкой, колонны с механическим распыливанием жидкости, однако это вряд ли целесообразно, так как усложнение конструкции не дает особых преимуществ. Весьма эффективными теплообменниками смешения оказались вихревые аппараты.

Основные преимущества вихревых аппаратов перед традиционными технологиями:

- характеризуются практически полной передачей тепловой энергии в нагреваемой среде в течение всего периода эксплуатации (термический КПД в этом случае не менее 99 %), благодаря развитой поверхности контакта фаз, интенсивным перемешиванием и высокой дисперсностью вращающегося газожидкостного слоя;

- обладают высокой пропускной способностью;

- низкое гидравлическое сопротивление данных аппаратов может дать экономию электроэнергии за счет замены существующего вентилятора вентилятором меньшей мощности;

- отличаются значительно большей устойчивостью к загрязнениям, существенно меньшими габаритными размерами и массой, чем традиционные теплообменники смешения, что приводит к значительному снижению эксплуатационных и капитальных затрат;

- не имеют вращающихся и трущихся частей, не подвержены зарастанию накипью и коррозией, в результате существенно повышаются их надежность и долговечность, понижаются затраты на ремонт и обслуживание по сравнению с насадочными колоннами.

Конструкции современных скоростных вихревых аппаратов, реализующих газожидкостной контакт в поле центробежных сил, более просты, надежны и эффективны в плане промышленного использования, решены вопросы, касающиеся равномерного распределения жидкости на контакт-ных элементах, предотвращения брызгоуноса.

В связи с недостаточной изучен-

ностью гидродинамики вихревого потока, а также процессов тепломассообмена в центробежном поле широкое внедрение вихревых аппаратов в промышленности в настоящее время сдерживается. Поэтому исследование гидродинамики и процессов тепломассообмена вихревых аппаратов, а также разработка методов его конструктивного расчета и определения основных гидродинамических характеристик являются актуальными.

### Основная часть

Закручивание потока теплоносителя в аппарате существенно интенсифицирует тепломассоотдачу. В закрученном потоке центробежные силы оттесняют поток к стенке аппарата, при этом возникает вторичное поперечное течение среды и увеличение пристенной скорости потока (суммирование продольного и поперечного течения), что содействует улучшению тепломассопереноса. Высокая интенсивность переноса тепла и массы, возможность регулирования времени пребывания жидкости в зоне контакта с газом, а также малые габариты, низкий брызгоунос, простота конструкции и отсутствие движущихся элементов делают аппараты с закрученным потоком теплоносителя весьма перспективными при проведении многих технологических процессов, в том числе теплообмена, абсорбции, десорбции, ректификации, экстрагирования, охлаждения газов и жидкостей, а также пылеулавливания и газоочистки.

С целью разработки оптимальной технологической схемы регенерации  $\text{NaCN}$  из первичного фильтрата цеха обжига ГМЗ-3 и определения режимных параметров схемы, расхода необходимых реагентов (щелочи, воздуха и т.д.) проведены экспериментальные исследования по определению эффективности работы десорбера для отгонки  $\text{HCN}$  из подкисленного раствора потоком воздуха и абсорбера для улавливания  $\text{HCN}$  из воздуха раствором  $\text{NaOH}$ . В экспериментальной установке в качестве десорбера и абсорбера были использованы стеклянные вихревые аппараты с диаметром

22 мм и высотой рабочей зоны 400 мм. Содержание NaCN в модельном растворе составило 520-550 мг/л, pH раствора равнялась 9,8-10,4.

Следует отметить, что наиболее сложной и менее интенсивной при регенерационном извлечении цианистого натрия является стадия десорбции из подкисленного раствора цианистоводородной кислоты из-за бесконечной растворимости HCN в воде. Кроме того, устойчивость комплексных цианидов тяжелых металлов существенно зависит от pH водных растворов. Очевидно, что наиболее полное удаление цианидов в виде HCN следует ожидать при подкислении растворов до  $\text{pH} < 3$ . В этом случае происходит не только связывание свободных цианидов в HCN, но и деструкция комплексных цианидов. В связи с этим были проведены 4 серии экспериментов по отгонке цианистого водорода из подкисленных растворов, при которых pH растворов равнялась соответственно 5,0; 4,0; 3,0 и 2,0.

Предварительное подкисление раствора до  $\text{pH} = 2 \div 5$  проведено в емкости исходного раствора объемом 50 л, с добавлением в раствор концентрированной серной кислоты. Количество необходимой серной кислоты определено в лаборатории, в зависимости от pH исходного раствора. Значения водородного показателя исходного раствора принято на основе анализа проведенных исследований сотрудниками ЦНИЛ ГП НГМК и авторами работ [1, 2].

Поглощение цианистого водорода в абсорбере проводили 2 %-ным раствором NaOH. Кинетику десорбции изучали путем однократной абсорбции, многократной обработки растворов в вихревых аппаратах.

Режимные параметры опытной установки составляли: расход воздуха в десорбер и абсорбер –  $13 \div 40 \text{ м}^3/\text{ч}$  (скорость воздуха в аппаратах равняется  $10 \div 30 \text{ м/с}$ ); расход подкисленного исходного раствора в десорбер –  $5 \div 50 \text{ л/ч}$  (плотность орошения  $20 \div 130 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ); расход раствора NaOH – в абсорбер  $30-150 \text{ л/ч}$  (плотность орошения  $80 \div 400 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ). Значения скорости воздуха выбраны исходя из точки

зрения эффективности вихревых аппаратов. Значения расходов исходного и поглотительного растворов – по экспериментальным данным, приведенным выше, и по данным авторов [1, 2]. В процессе проведения опытов температура рабочих сред равнялась  $17 \div 18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

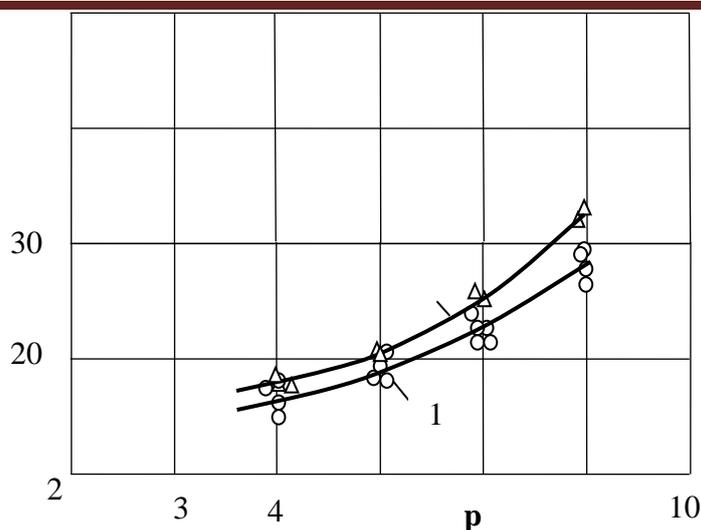
Эксперименты по десорбции цианистого водорода из подкисленного раствора в воздух проводили в первом вихревом аппарате. Результаты исследований по десорбции HCN приведены на рисунке 1. Как видно из рисунка, со снижением значений pH раствора с 5 до 2 существенно ускоряется интенсивность процесса десорбции цианистого натрия, что хорошо согласуется с соответствующими данными [1, 2].

Степень извлечения при десорбции HCN в поток воздуха, которая равна отношению количества десорбированного газа к его начальному количеству в исходном растворе, определяли по формуле [3]:

$$\Psi = (X_n - X_k) / X_n,$$

где  $X_n$  и  $X_k$  – начальная и конечная относительные концентрации растворенного газа в жидкости.

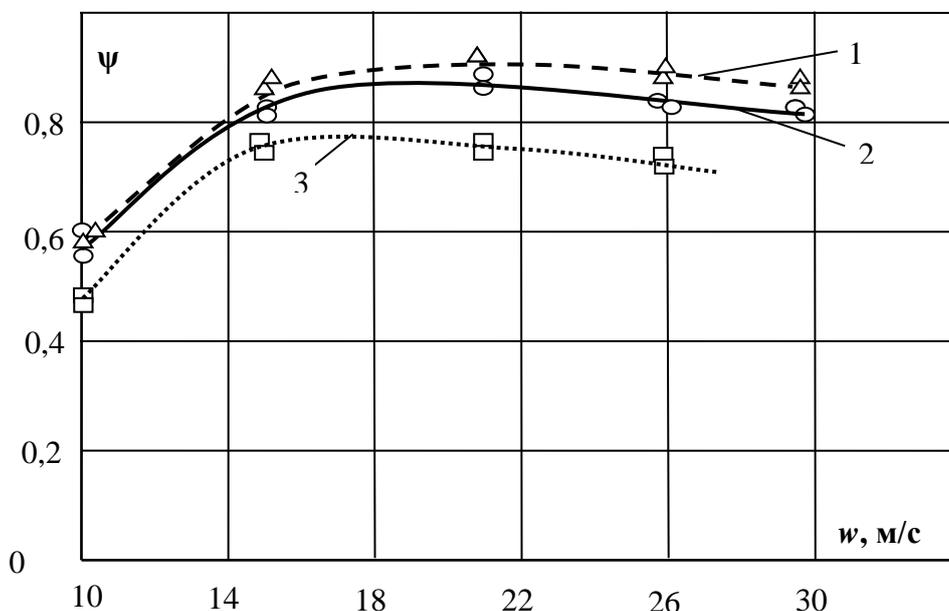
На рисунке 2 представлена зависимость степени извлечения в условиях десорбции цианистого водорода из исходного раствора потоком воздуха от скорости газа в вихревом десорбере. Видно, что кривая зависимости имеет экстремальный характер. Существование максимума на кривых  $\Psi = f(w)$  объясняется одновременным и противоположным действием на массообмен двух факторов: увеличением относительных скоростей газа и жидкости и уменьшением времени пребывания рабочих сред в аппарате. Первый из этих факторов способствует возникновению развитой, мгновенно обновляющейся поверхности контакта фаз и, следовательно, увеличению интенсивности переноса массы, а второй вызывает уменьшение количества десорбируемого газа. При скоростях газа  $10-18 \text{ м/с}$  доминирующую роль играет первый фактор, а с увеличением  $w$  начинает превалировать второй.



**Рис. 1. Зависимость концентрации NaCN в выходящем из десорбера растворе от pH раствора при расходе раствора, л/ч: 1-15; 2-40**

Как было сказано выше, на полноту удаления цианидов оказывают влияние не только условия массообмена, но и pH обрабатываемого раствора. Запас кислотности, созданный некоторым избытком ионов  $H^+$  в растворе, и интенсивный массообмен за время обработки подкисленного раствора в вихревом аппарате приводят к практически полному удалению HCN из раствора и, следовательно, позволяют вернуть в производство дополнительное количество цианида натрия.

Существование развитой, мгновенно обновляющейся поверхности контакта фаз в аппарате с вращающимся газожидкостным слоем делает возможным интенсификацию процесса десорбции цианистого водорода из модельного раствора, имеющего большое сопротивление массопереносу в жидкой фазе. Кроме этого, конструкции вихревого аппарата позволяют работать в достаточно широких диапазонах нагрузок по жидкости и газу.



**Рис. 2. Зависимость степени извлечения при десорбции HCN в поток воздуха от скорости воздуха при расходе раствора, л/ч: 1-10; 2-15; 3-40**

Для реализации процесса регенерации цианида из отработанных технологических растворов или сточных вод в большинстве случаев используются барботажные или насадочные колонны для десорбции цианистоводородной кислоты. Недостатками этих аппаратов являются многостадийная и длительная аэрация воздухом, а также периодичность проведения процессов. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в вихревом аппарате в условиях интенсивного массопереноса за счет развитой мгновенно обновляющейся поверхности контакта фаз «жидкость – газ» при  $\text{pH} < 3$  средняя объемная скорость конверсии исходных соединений в 40-60 раз выше, чем в обычных барботажных колоннах.

Эксперименты по абсорбции цианистого водорода 2 %-раствором гидроксида натрия проводили во втором вихревом аппарате. Результаты опытов представлены в таблице. Видно, что при  $\text{pH} < 4$  исходного раствора степень извлечения

NaCN составляет более 68-70 %.

Известно, что температура и давление влияют на процессы абсорбции и десорбции: с повышением температуры и снижением давления интенсивность десорбции увеличивается, а абсорбции снижается [4]. Однако включение в состав оборудования регенерационного извлечения NaCN двух теплообменников: для нагревания воздуха или раствора перед десорбером и охлаждения их перед абсорбером, а также компрессора для сжатия газа, подаваемого в абсорбер, слишком усложняет технологическую схему процесса. Кроме того, по литературным данным [1, 2, 5, 6, 7, 8, 9-11] и результатам исследований, приведенных выше, высокая тепломассообменная эффективность вихревых аппаратов обеспечивает достаточно высокую степень абсорбции и десорбции и при атмосферной температуре и давлении. Следовательно, процесс регенерационного извлечения цианида натрия из отработанных растворов можно проводить в нормальных условиях.

**Таблица**

**Результаты абсорбции HCN в вихревом аппарате**

рН подкисленного раствора	Количество NaCN в исходном растворе, г	Количество NaCN в абсорбенте, г	Эффективность регенерационного извлечения NaCN, %
5	26	17,2	66,2
4	27	18,4	68,15
3	26,5	18,55	70
2	26,5	18,6	70,2

### **Выводы**

Таким образом, на основе анализа результатов проведенных экспериментальных исследований определены следующие оптимальные режимные параметры проведения регенерационного извлечения цианида натрия из отработанных растворов:

1. рН подкисленного раствора – 2÷3.
2. Скорость газа в десорбере и абсорбере – 19 м/с.

3. Плотность орошения в десорбере  $U_{\text{дес}} = 42 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

4. Плотность орошения в абсорбере  $U_{\text{абс}} = 200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

5. Температура и давление процессов десорбции и абсорбции – атмосферное.

6. Концентрация поглотительного раствора – 2 %.

### *Источники и литература*

1. Кочанов А.А. *Технология очистки сточных вод предприятий по переработке золотосодержащих концентратов: дисс. ... канд.техн. наук.* – Новосибирск, 2003. – 212 с.
2. Батоева А.А. *Перспективные методы очистки цианидсодержащих оборотных и сточных вод // Вестник ИрГТУ.* – 2011. – № 10. – С. 57-63.
3. Гельперин Н.И. *Основные процессы и аппараты химической технологии.* – М: Химия, 1981. В двух книгах. – 812 с.
4. Рамм В.М. *Абсорбция газов.* – М.: Химия, 1976. – 665 с.
5. Бахронов Х.Ш., Туйбойев О.В. *Разработка конструкции и исследование эффективности теплообменных аппаратов с закрученным потоком: Монография.* – Навои: изд-во им. Алишера Навои, 2017. – 199 с.
6. Войнов Н.А. *Массообмен в газожидкостном слое на вихревых ступенях / Войнов Н.А., Жукова О.П., Ледник С.А., Николаев Н.А. // Теоретические основы химической технологии.* – 2013. – Т. 47. – № 1. – С. 1-6.
7. Алимов Р.З. *К вопросу оценки степени закрутки поступательно-вращательно движущихся потоков / Алимов Р.З., Исламов В.М., Лукьянов В.И., Осипенко Ю.М. // Вихревой эффект и его промышленное применение: сборн.* – Куйбышев, 1981. – С. 333-338.
8. Николаев А.Н., Овчинников А.А., Николаев Н.А. *Высокоэффективные вихревые аппараты для комплексной очистки больших объемов промышленных газовых выбросов // Химическая промышленность.* – 1992. – № 9. – С. 36-38.
9. Войнов Н.А. *Гидродинамика и массообмен на ступени с профилированными тангенциальными каналами // Химическая промышленность.* – 2011. – Т. 88 – № 5. – С. 250-256.
10. Войнов Н.А. *Теплообмен на вихревой контактной ступени // Химия растительного сырья.* – 2012. – № 4. – С. 209-213.
11. Апарушкина М.А. *Исследование процессов в вихревых скрубберах и разработка инженерных методов расчета: автореф. дисс. ... канд. техн. наук.* – М.: Московский государственный текстильный университет, 2010. – 17 с.

### **Рецензент:**

Насырова Ш.Н., доктор технических наук, доцент кафедры «Методика преподавания информатики» НавГНИ.