

<sup>1</sup>Маматов Нурлан Элебесович<sup>2</sup>, Сатыбалдиева Джаркын Касенакуновна<sup>3</sup>,  
Аскаралиев Бакытбек Окенович<sup>1</sup>, Карабаев Айбек Нурудинович, Аскаралиев Т.Б.

<sup>1,2</sup>Кыргыз-Түрк Манас университети

<sup>2</sup>Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура университети

<sup>3</sup>К.И.Скрябин атындагы Кыргыз улуттук агрардык университети

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МОДЕЛЬ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ В ФРУКТОЗНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Аннотация:** Бул иште жашылча заводунан агып чыккан суулардын курамында көп болгон органикалык кошундулар окуп изилденген. Коагулянттын саны, коагуляция процессин иш жүзүнө ашыруучу, коагулянттын түрүнөн, чыгымынан, талап кылынган тазалоо даражасынан көз каранды болуп, эксперименттик жол менен аныкталат.

**Аннотация:** В данной работе исследованы сточные воды фруктозного завода, содержащие значительное количество органических примесей. Количество коагулянта, необходимое для осуществления процесса коагуляции зависит от вида коагулянта, расхода, состава требуемой степени очистки сточных вод и определяется экспериментально.

**Annotation:** In this paper, the wastewater of a fructose plant containing a significant amount of organic impurities is investigated. The amount of coagulant necessary for the process of coagulation depends on the type of coagulant, the flow, the composition of the required degree of wastewater treatment, and is determined experimentally.

**Өзөктүү сөздөр:** математикалык модель, коагуляциялык тазалоо, агып чыккан суулар, жашылча заводу, тазалоо даражасы.

**Ключевые слова:** математический модель, коагуляционная очистка, сточная вода, фруктозный завод, степень очистки.

**Keywords:** Mathematical model, coagulation cleaning, sewage, fructose plant, degree of purification.

**Ведение.** Вода - ценнейший природный ресурс. Она играет исключительную роль в процессах обмена веществ, составляющих основу жизни. Огромное значение вода имеет в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Общеизвестна необходимость ее для бытовых потребностей человека, всех растений и животных. Для многих живых существ она служит средой обитания. Рост городов, бурное развитие промышленности, интенсификация сельского хозяйства, значительное расширение площадей орошаемых земель, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов все больше усложняет проблемы обеспечения водой [1]. Потребности в воде огромны и ежегодно возрастают. Ежегодный расход воды на земном шаре по всем видам водоснабжения составляет 3300-3500 км<sup>3</sup>. При этом 70% всего водопотребления используется в сельском хозяйстве. Много воды потребляют химическая и целлюлозно-бумажная промышленность, черная и цветная металлургия. Развитие энергетики также приводит к резкому увеличению потребности в воде. Значительное кол-во воды расходуется для потребностей

отрасли животноводства, а также на бытовые потребности населения. Большая часть воды после ее использования для хозяйственно-бытовых нужд возвращается в реки в виде сточных вод. Дефицит пресной воды уже сейчас становится мировой проблемой. Все более возрастающие потребности промышленности и сельского хозяйства в воде заставляют все страны, ученых мира искать разнообразные средства для решения этой проблемы. На современном этапе определяются такие направления рационального использования водных ресурсов: более полное использование и расширенное воспроизводство ресурсов пресных вод; разработка новых технологических процессов [2], позволяющих предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление свежей воды.

**Материал и методы исследований.** Целью моделирования является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект. Полная математическая модель включает описание связей между основными переменными процесса в установившихся режимах и во времени при переходе от одного режима к другому.

**Результаты исследований.** Решение рассматриваемой модели заключается в подборе соответствующих уравнений для описания рабочего режима, - проверку ограничений на входные и выходные параметры, вычисление целевой функции. К варьируемым входным параметрам относятся гранулометрический состав шлама, высота фильтрующего слоя. Входными параметрами процесса являются коагуляционная емкость шлама, качество исходной воды, заданная производительность и степень очистки.

Поскольку регенерация шлама в данном технологическом процессе не предусмотрена, то решение математической модели заключается в подборе соответствующих уравнений для описания рабочего режима. Соответственно продолжительность полного фильтроцикла в коагуляции будет совпадать со временем коагуляции  $\tau$ .

Приближенно продолжительность  $\tau$  можно определить, исходя из средней концентрации  $y_1$  органических веществ, поглощенных сорбентом в начальный момент времени и их концентрации  $y_2$  - в конечный момент:

$$\tau = \frac{G + (y_2 - y_1)}{\omega_0 S \rho_{с.в.} (N_2 - N_1)} \quad (1)$$

где,  $\omega_0$  - скорость сточной воды, м/с;  $S$  - площадь сечения коагулянта, м<sup>2</sup>;  $\rho_{с.в.}$  - плотность сточной воды, кг/м<sup>3</sup>;  $C_1$ , и  $C_2$  - концентрации поглощаемых органических веществ в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $G$  - масса шлама в фильтрующем слое, г.

По экспериментальным данным можно получить значение количество  $G$  коагуляционной за время  $\tau$  примеси  $G(\tau)$  или скорость адсорбции  $dG/dt$ , рассчитанное по уравнению (1).

Описание динамики коагуляции проводится обычно с учетом лишь одного или двух кинетических параметров: эффективной продольной диффузии, массопереноса из потока жидкости к гранулам коагулянта, диффузии внутри гранул коагулянта. Расчет математической модели с учетом всех указанных кинетических процессов является сложной задачей.

В этом случае динамика коагуляции описывается уравнениями материального баланса коагуляционного вещества между твердой и жидкой фазами, кинетикой процесса переноса примеси из потока жидкости внутрь зерен коагулянта. [3,4,5].

Предположим, что органические вещества сточной воды движется с линейной скоростью вдоль слоя коагулянта, первоначально не заполненный коагулируемой примесью. Тогда общий материальный баланс, описывающий процесс коагуляции, запишется в виде нелинейного дифференциального уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} + w \frac{\partial n}{\partial h} + \varepsilon \frac{\partial n}{\partial \tau} - D^* \frac{\partial^2 n}{\partial h^2} = 0 \quad (2)$$

где  $a$  — величина коагуляции, г/г;  $c$  — текущая концентрация коагулянта в потоке, мг/дм<sup>3</sup>;  $\tau$  — время, с;  $w$  — скорость движения потока жидкости, м/с;  $h$  — высота слоя коагулянта, см;  $\varepsilon$  — прозрачность коагулянта;  $D^*$  - коэффициент

продольной диффузии, учитывающий молекулярную диффузию и конвективное перемешивание вдоль слоя, м<sup>2</sup>/с.

Данное уравнение описывает баланс коагуляционного вещества между твердой и жидкой фазами. Первый член уравнения отражает количество загрязнений, поступающих в коагуляционный фильтр, второй - задержанных загрязнений, третий - количество загрязнений, оставшееся в фильтрате, четвертый - продольную диффузию. Однако при очистке воды в коагулянтах с плотным слоем гранулированного сорбента продольная диффузия незначительна и режим движения органических веществ сточной воды в таком коагулянте можно с достаточной степенью точности описать моделью идеального вытеснения, а в пределах гранулы коагулянта - моделью идеального смешения.

Уравнение кинетики процесса коагуляции записывается в виде:

$$da/d\tau = \beta_i (c - c^*), \quad (3)$$

где  $\beta_i$  - объемный коэффициент массопередачи, с<sup>-1</sup>;  $c^*$  - концентрация коагулянта на поверхности раздела фаз; равновесная текущей величине коагуляции, мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, в течении всего процесса в слой поступает поток жидкости при постоянной концентрации коагулянта и температуре.

Изотерма коагуляции является основной характеристикой коагулянта. Уравнение изотермы коагуляции записывается в виде:

$$a = f(c) \quad (4)$$

Коагуляционная емкость шлама пропорциональна конечной концентрации органических веществ. Выпуклая форма изотермы подтверждает эффективную коагуляцию шламом органических веществ из водных растворов. Подобный вид изотермы коагуляции характерен для микропористых сорбентов.

В дальнейшем полученные данные изотермы коагуляции позволят определить оптимальные параметры и условия промышленных установок очистки сточных вод глюкозного производства.

По высотам работающих слоев, использованных в эксперименте, можно рассчитать коэффициент массопередачи для каждого момента времени по следующему уравнению

$$\beta_i = \frac{a_{i+1} - a_1}{c_{i+1} - c_1} \frac{10^{-3}}{\tau_i} \quad (5)$$

На коэффициент массопередачи оказывают влияние природа коагуляции и коагулянта, он монотонно убывает при увеличении величины коагуляции и размера гранул сорбента. Чем ниже концентрация примесей в воде, тем вероятнее попадание в очищенную воду только трудно сорбируемых компонент, что наименьшее расхождение между экспериментальными и расчетными точками данные достигается при аппроксимации полиномом 3-го порядка.

Таким образом, определенный по уравнению (5) коэффициент массопередачи  $\beta_i$  будет являться величиной переменной, мгновенные значения которой различны в разные моменты времени. Характер кривой соответствует литературным данным по изучению изменения коэффициента массопередачи при коагуляции. Коэффициент массопередачи можно также интерпретировать как функцию отклика гидродинамической модели на ссоответствующее возмущение.

Решением системы дифференциальных уравнений (2), (4) является нахождение целевой функции. При расчете материального баланса процесса коагуляции в каждом дифференциальном элементе слоя коагулянта - шлама с учетом кинетики поглощения органических веществ из сточных вод образуется поверхность, отражающая изменение концентрации, как в слое, так и во времени.

Полученный в процессе выполнения экспериментов по кинетике коагуляции информационный базис позволяет моделировать динамику коагуляции в неподвижном слое коагулянта - шлама на основе уравнений материального баланса в частных производных и последующей аппроксимацией с использованием встроенных функций различных вычислительных программ.

Определение оптимальных доз реагентов для очистки сточных вод, обеспечивающих устойчивую работу установки, в частности стадии обессоливания, было выполнено экспериментально.

При решении задачи одновременного удаления взвешенных веществ и растворенных солей был исследован реагентный метод с применением извести и соды в различных соотношениях. Высокая эффективность очистки сточных вод от взвешенных веществ была достигнута при ее обработке содой в концентрации  $1,35 \text{ г/дм}^3$ , при этом концентрации органических веществ находилась на уровне, значительно превышающем ПДК.

В промышленных условиях кристаллическую фруктозу получают из гидролизатов сахарозы или глюкозно-фруктозных сиропов, полученных изомеризацией гидролизатов крахмала.

Наиболее перспективным является производство фруктозы из сахарозы или крахмала с применением ионообменной технологии. По этому способу гидролиз сахарозы проводится при помощи ионообменной смолы. Крахмал гидролизуют, и изомеризуют глюкозу с применением ферментов. Разделение изомеризата на отдельные компоненты затем осуществляется хроматографическим методом на полистиролсульфонатном катионите в Са- форме. Принципиальная схема получения фруктозы и глюкозы из сахарозы и крахмала приведена на рис. 1.

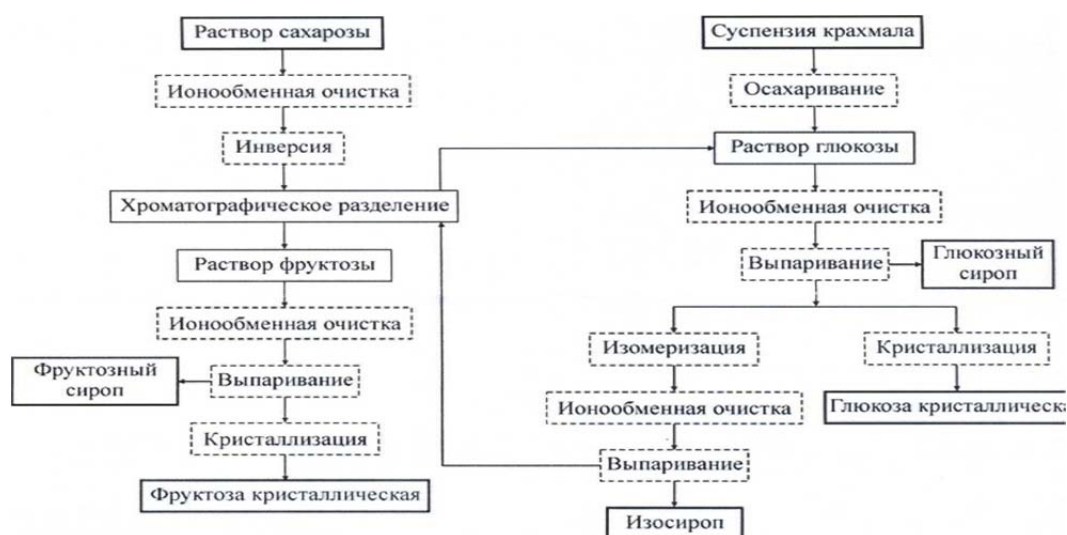


Рис.1. Принципиальная схема получения фруктозы и глюкозы из сахарозы и крахмала

Согласно приведенной схеме, раствор сахара 50% концентрации вначале подвергают ионообменной очистке для удаления главным образом минеральных нес сахаров. Очищенный раствор затем подвергают инверсии и хроматографическому разделению. Для проведения этих операций целесообразно использовать хроматографическую колонку с катионитом, который не полностью насыщен  $\text{Ca}^{2+}$ . Если инверсия осуществляется отдельно, то хроматографическое разделение проводят на катионите, полностью переведенном в Са-форму. Отбор глюкозной и фруктозной фракций с колонки проводят так, чтобы они имели чистоту 95 %.

Среднюю смешанную фракцию используют для приготовления раствора сахарозы. После фильтрования и обесцвечивания растворы глюкозы и фруктозы сгущают до получения сиропов с концентрацией СВ 50-70 %. Из фруктозной фракции получают фруктозные сиропы с содержанием 90 и 95 % фруктозы на СВ. Кристаллизацией из фруктозного сиропа можно получить 50 % кристаллической фруктозы. Если же кристаллизация проводится с применением метанола, то выход кристаллической фруктозы возрастает до 80 %. Для увеличения выхода фруктозы глюкозный сироп может быть подвергнут изомеризации с получением изосиропа. Этот сироп в отличие от глюкозы обладает такой же сладостью, как сахароза, и может применяться как ее заменитель или может быть подвергнут хроматографическому разделению.

**Обсуждение результатов.** В данной работе исследованы сточные воды фруктозного завода, содержащие значительное количество органических примесей. Количество коагулянта, необходимое для осуществления процесса коагуляции зависит от вида коагулянта, расхода, состава требуемой степени очистки сточных вод и определяется экспериментально.

Характеристика сточных вод приведены в таблице 1.

Таблица 1

**До и после очистки сточных вод консервного производства**

| Показатели          | Концентрация загрязнений |               | Эффект очистки % |
|---------------------|--------------------------|---------------|------------------|
|                     | До очистки               | После очистки |                  |
| рН                  | 5,2                      | 7,3           |                  |
| Взвешенные вещества | 560                      | 240           | 57               |
| ХПК                 | 780                      | 220           | 72               |
| Сухой остаток       | 1640                     | 650           | 60               |
| сульфаты            | 370                      | 180           | 51               |

**Выводы:** Степень загрязненности сточной воды определяли бихроматным методом по значению ХПК. При обработке сточных вод гидроксидами алюминия и железа степень очистки 49%, а восстановленным шламом составляет 72%.

### Список использованной литературы

1. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Под редакцией *О.А.Юшманова* М.: Агропромиздат 1985
2. *Маматов Н.Э. Сатыбалдиева Д.К. Аскаралиев Б.О., Карабаев А.Н.* Сүт өндүрүүдө агып чыккан сууларды тазалоодо адсорбция методун колдонуу/ Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2017. № 1 (41). С. 152-160.
3. С. А. Понкратова, В. М. Емельянов, А. С. Сироткин, М. В. Шулаев. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.
4. *Кафаров, В.В.* Моделирование биохимических реакторов / В.В. Кафаров, А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев. – М. : Лесная пром-сть, 1979. – 344 с.
5. *Вавилин, В.А.* Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках / В.А. Вавилин. – М.: Наука, 1983. – 158 с.
6. *Нагаев, В.В.* Система имитационного моделирования процесса водоочистки в промышленном аэротенке /В.В. Нагаев, А.С. Сироткин, С.А. Понкратова // Массообменные процессы и аппараты химич. техн. - 1997. - С. 22-29
7. *Сироткин, А.С.* Современные технологические концепции аэробной биологической очистки сточных вод/ А.С.Сироткин, С.А.Понкратова, М.В.Шулаев. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та,, 2002. – 160 с.
8. *Шулаев, М.В.* Опытнo-промышленные испытания биосорбционного метода обработки отработанных СОЖ/ М.В.Шулаев [и др.]/ Актуальн. экол. пробл. РТ: Тезисы. VII Республ. научн. конф. Казань. – Казань: Отечество, 2007. – С. 231 – 232.
9. *Понкратова, С.А.* Экспертная роль компьютерного комплекса на очистных сооружениях /С.А. Понкратова, В.М. Емельянов, О.А. Дмитриева //II Всероссийские научные Зворыкинские чтения. - Муром: Изд.-полиграф. центр МИ ВлГУ, 2010. – С. 428.

### Сведения об авторах

Фамилия, имя, отчество – **Маматов Нурлан Элебесович**

Ученая степень – PhD, доцент

Место работы – Кыргызско-Турецкий университет «Манас»

Должность – заместитель декана

Почтовый адрес места работы – 720044, Бишкек, Проспект Мира, 56

Контактные телефоны: +996 312 49-27-83, E-mail: [nurmamatov1965@mail.ru](mailto:nurmamatov1965@mail.ru)

Фамилия, имя, отчество – **Сатыбалдиева Джаркын Касенакуновна**

Ученая степень – кандидат технических наук, доцент

Место работы – КГУСТА им. Н.Исанова

Должность – Заведующий кафедрой “ООС и РИПР”

Почтовый адрес места работы – 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б

Контактные телефоны: (312) 564538., E-mail: [dzhakyn@mail.ru](mailto:dzhakyn@mail.ru)

Фамилия, имя, отчество – **Аскаралиев Бакытбек Окенович**

Ученая степень – кандидат технических наук, доцент

Место работы – Кыргызский национальный аграрный университет имени К.И. Скрябина.

Должность – заместитель декана

Почтовый адрес места работы – 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68

Контактные телефоны: +996 312 54-52-31, E-mail: [abtajbakyt@gmail.com](mailto:abtajbakyt@gmail.com)

Фамилия, имя, отчество – **Карабаев Айбек Нурудинович**

Ученая степень – PhD

Место работы – Кыргызско-Турецкий университет «Манас»

Должность – научный сотрудник

Почтовый адрес места работы – 720044, Бишкек, Проспект Мира, 56

Контактные телефоны: +996 312 49-27-83, E-mail: [aibekusa@mail.ru](mailto:aibekusa@mail.ru)

**Рецензент:** д.с-х.н., профессор Саипов Б.Э.