

УДК 608.2

**Исследование интенсификации процесса ионного обмена с
использованием переменного тока на катионите PUROLITE CT-175 Н +**

Жарнова А.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

Пугин А.И., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

Седова А.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

Сереев К.С., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

Научный руководитель: Носенко В.А., старший преподаватель

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

E9@bmstu.ru

В настоящее время проблема очистки воды играет большую роль в промышленности и коммунальном хозяйстве. Существует много различных методов доведения параметров качества воды до соответствующих требований по солевому составу. Одним из таких методов является метод очистки с помощью ионного обмена. Этот метод имеет ряд неоспоримых преимуществ. Он позволяет утилизировать ценные примеси, очищать воду от высокотоксичных примесей до предельно допустимых концентраций и обеспечивать возможность использования очищенных сточных вод в производственных процессах или в системах оборотного водоснабжения.

Кратко рассмотрим принцип ионного обмена.

Ионный обмен — это обратимая гетерогенная химическая реакция, при которой происходит обмен ионами между твердым веществом (ионитом) и раствором электролита.

Вещества, способные к обмену содержащихся в них ионов на ионы раствора, в который они погружены, называют *ионообменниками*, или *ионитами*.

Широкое практическое применение для очистки сточных вод получили *синтетические ионообменные смолы*. Соединения эти состоят из пространственно

сшитых нерастворимых в воде углеводородных цепей с фиксированными на них активными ионогенными группами, имеющими заряд, который нейтрализуется расположенными внутри полимера ионами противоположного знака – противоионами, способными вступать в реакции обмена с ионами того же знака, находящимися в растворе. По знаку заряда обменивающихся ионов (Рис. 1) различают *катиониты* (иониты, обменивающие катионы) и *аниониты* (иониты, обменивающие анионы) [1,3].

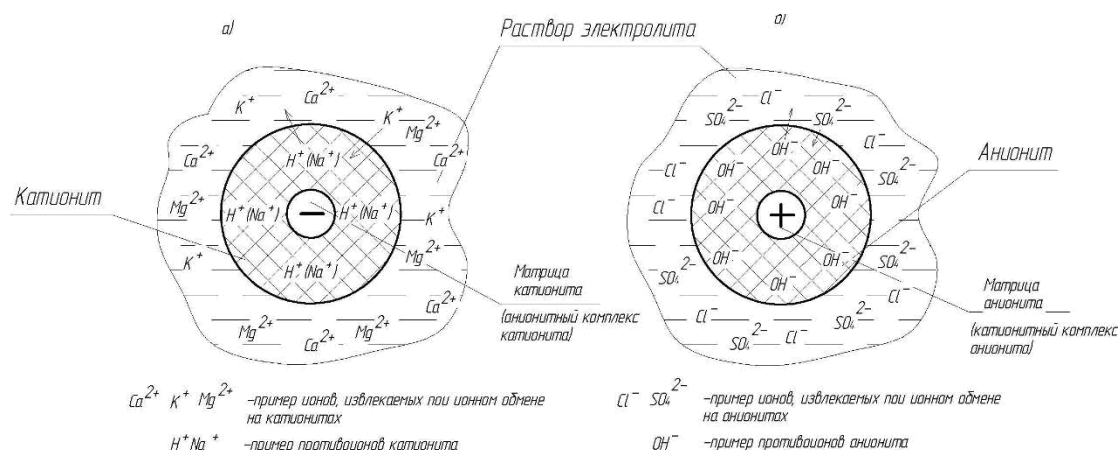
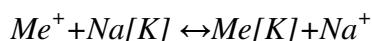
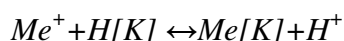


Рис. 1. Виды ионного обмена

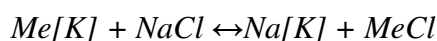
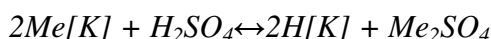
Характерной особенностью ионитов является их обратимость - то есть возможность проводить реакцию обмена противоионами в противоположном направлении и восстанавливать первоначальные свойства смолы – другими словами осуществлять *регенерацию*.

Катиониты обычно находятся в *Na*- или *H*-форме. Обмен катионами в соответствии с этим может проходить по следующим реакциям [1]:

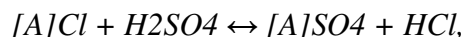
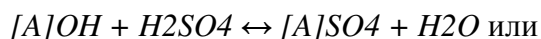


где $[K]$ - сложный комплекс катионита, Me^+ - катион металла сточной воды.

Обратное замещение сорбированных ионов катионита ионами водорода или натрия (процесс регенерации) достигается промывкой обработанного катионита кислотой (*H*-катионит) или раствором поваренной соли (*Na*-катионит):



Аниониты чаще всего находятся в Cl или OH форме. Обмен катионами в соответствии с этим может проходить по следующим реакциям [1,3] :



где $[A]$ - сложный комплекс анионита.

Существуют также *амфотерные иониты*, способные одновременно осуществлять и катионный и анионный обмен.

Одним из самых важных свойств ионитов является *обменная ёмкость*. Обменная ёмкость – это содержание в ионите ионов способных к обмену.

Для количественной характеристики ионообменных и сорбционных свойств ионитов применяют следующие величины: *полная, динамическая и рабочая* обменная емкость [3].

Полная, или полезная, обменная емкость (ПОЕ) определяется числом функциональных групп, способных к ионному обмену, в единице массы воздушно-сухого или набухшего ионита и выражается в $мг-экв/г$ или $мг-экв/л$.

Динамическая обменная емкость (ДОЕ) – важнейший показатель в процессах водоподготовки. В реальных условиях многократного применения ионита в цикле сорбции-регенерации обменная емкость используется не полностью, а лишь частично. Обычно процесс очистки воды прекращают при определенной концентрации лимитирующего иона (Рис.2), как правило, задолго до полного насыщения ионита. Количество поглощенных при этом ионов, соответствующее площади прямоугольника A , отнесенное к объему ионита, и будет ДОЕ. Количество поглощенных ионов, соответствующее полному насыщению, когда проскок равен 1, соответствующее сумме ДОЕ и площади заштрихованной фигуры над S -образной кривой, называют полной динамической обменной емкостью (ПДОЕ). В типовых процессах водоподготовки ДОЕ обычно не превышает 0,4 - 0,7 ПОЕ.

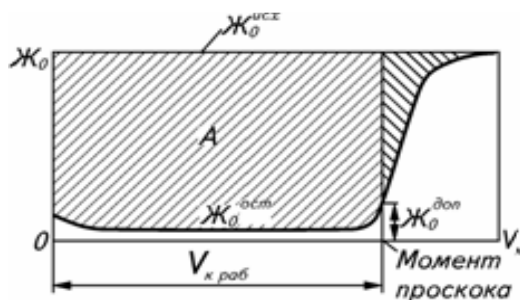


Рис. 2. Сравнение полной динамической ПДОЕ и динамической обменной емкости ДОЕ. Заштрихованная площадь A соответствует ДОЕ, а вся площадь над кривой с учетом проскока солей – ПДОЕ

Одной из главных задач в вопросах, связанных с ионным обменом, является вопрос об интенсификации процесса. Существует несколько методов интенсификации процесса ионообменной обработки. Для интенсификации процесса может применяться воздействие на иониты ультразвуком, градиентом гидравлического давления или повышением температуры обрабатываемой жидкости, магнитным полем, электрическим током различной частоты

Ранее проводились работы по интенсификации процесса ионного обмена при помощи постоянного тока [2], но воздействие постоянного тока приводит к электролизу воды, выделению взрывоопасных газов и быстрому разрушению электродов. Для повышения безопасности и надежности процесса было решено применить для интенсификации воздействие переменного тока.

Перед проведением экспериментов была выдвинута гипотеза: наложение переменного тока промышленной частоты вызывает изменения в кинетике химической реакции и влияет на рабочую объемную емкость ионита.

Обоснуем применение переменного тока для интенсификации процесса ионного обмена. Представим на примере единичного зерна ионита модель протекания ионного обмена (Рис. 3).

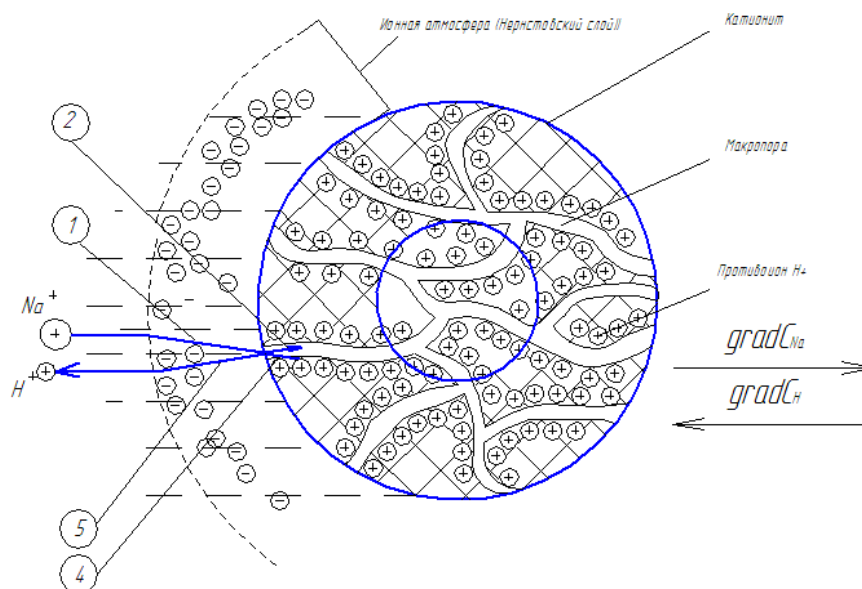


Рис.3. Схема протекания ионного обмена без воздействия переменного тока

Принимаем, что катионит находится в H^+ форме, а раствор электролита содержит ионы Na^+ . Градиент концентрации ионов Na^+ направлен внутрь зерна, ионы

продвигаются к зерну, преодолевая так называемый диффузионный Нернстовский слой, ионную атмосферу, диффундируют в зерно, обмениваются с H^+ , при этом градиент концентрации ионов водорода направлен из зерна в раствор, ионный обмен протекает до тех пор, пока не израсходуется рабочая емкость ионита (РОЕ), т.е. количество ионов водорода, способных к обмену. Известно, что рабочая обменная емкость не равна полной обменной емкости ионита (ПОЕ). Она составляет:

$$РОЕ=0,5..0,7ПОЕ$$

Нами было сделано предположение, что данное соотношение выполняется из-за того, что ионам электролита не хватает энергии, чтобы пройти глубже в зерно ионита по макропоре, где так же распределены недостижимые противоионы. Т.е. в катионите присутствует так называемая «мертвая зона». Почему? По нашему мнению все дело в ионной атмосфере, окружающей зерно, при прохождении которой ион электролита тратит свою энергию. Что если возможно разогнать и разрядить ионную атмосферу и попытаться увеличить РОЕ?

Нами был предложен способ интенсификации ионного обмена с помощью воздействия на обрабатываемую среду переменным током.

Тогда картина протекания процесса должна несколько измениться (рис.4)

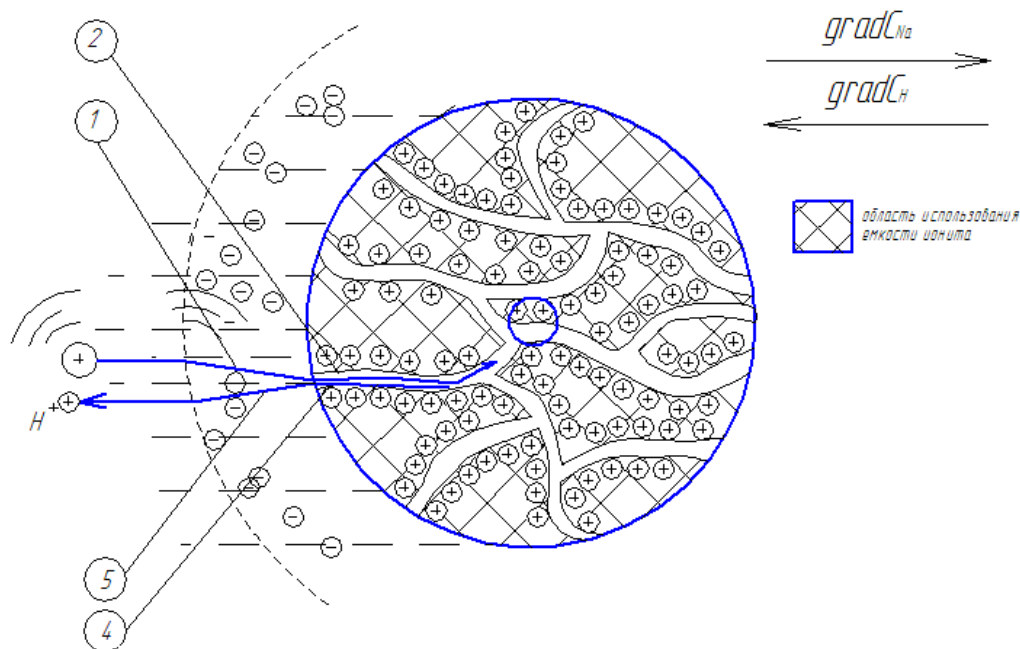


Рис. 4. Предполагаемая схема протекания ионного обмена с ЭМП

Под действием электромагнитного поля ионная атмосфера будет «разрыхляться», что сохранит больше энергии для движения ионов из раствора к зерну, увеличится

скорость диффузии как в пленке так и в зерне, а так же увеличит дальность пробега ионов-загрязнителей. Таким образом:

1. Увеличится скорость протекания процесса.
2. Увеличится РОЕ смолы за счет задействования противоионов из «мертвой зоны».

В данной работе рассмотрен процесс интенсификации ионного обмена путём воздействия на ионит переменного тока промышленной частоты. Эксперимент проводился на катионите PUROLITE CT – 175 Н+. Пропускался раствор $NaCl$ с концентрацией 0,5 г/л.

Для определения эффективности воздействия переменного тока на процесс ионного обмена эксперимент выполнялся в две стадии. Сначала проводилась обработка модельного раствора на ионообменной загрузке без воздействия переменного тока, а затем, загружалась новая порция ионита, и модельный раствор пропусклся уже при воздействии переменного тока.

Схема проведения эксперимента без воздействия переменного тока представлена на рис. 5.

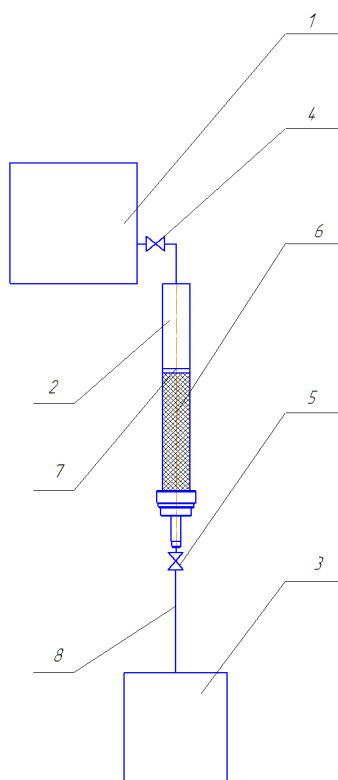


Рис. 5. Схема проведения эксперимента без электрического поля

Эксперимент проводился следующим образом. Предварительно замоченная в воде ионообменная смола 6 загружалась в ионообменную колонку 2, сверху укладывался удерживающий материал 7 (кусок фильтровальной сетки 12Х18Н10Т). В бак 1 заливался модельный раствор соответствующего опыту состава; после раствор подавался в колонку по трубкам 8, расход модельного раствора регулировался кранами 4 и 5; очищенная вода собиралась в резервуаре 3. Отбор проб проводился равномерно через каждые 3 литра пропущенного раствора. Объем каждой пробы составлял 180-200 мл.

Схема проведения эксперимента с воздействием переменного электрического тока представлена на рис. 6.

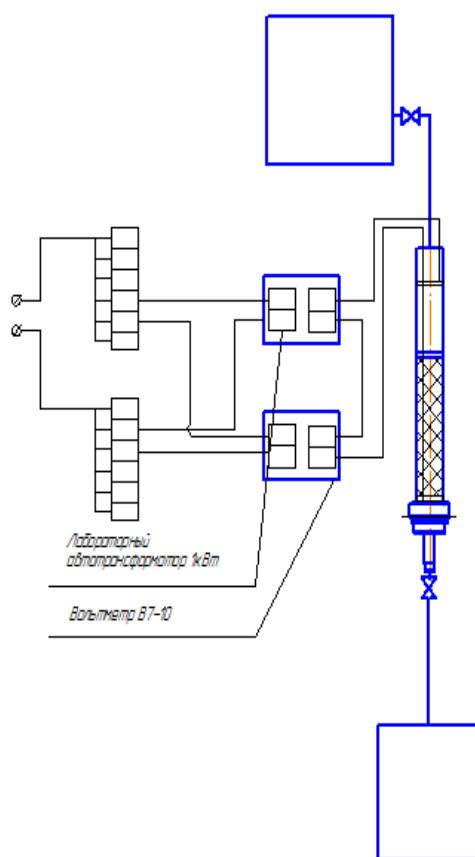


Рис. 6. Схема проведения эксперимента с наложением электрического поля

Схема качественно не отличается от предыдущей. Используются электроды, подключенные через лабораторный автотрансформатор и вольтметр к источнику тока 220В.

Изучалась зависимость обменной емкости смолы от плотности переменного тока. Эксперименты проводились при плотностях тока в диапазоне от $4,75 \text{ мА/см}^2$ до $8,5$

мА/см². Проводился эксперимент при одинаковом расходе воды $Q = 0,5$ л/мин., на растворах, приготовленных в одинаковых условиях.

Были измерены следующие параметры исходного модельного раствора, и раствора после прохождения ионообменной колонки воды: водородный показатель рН, концентрация ионов натрия C_{Na} в растворе,

Для измерения вышеперечисленных параметров использовался иономер рХ-150МИ. В состав прибора входит термодатчик ТД и следующий набор электродов:

1. Электрод сравнения Ср-10
2. Ионоселективный электрод ЭЛИС-112Na;
3. рН электрод ЭС-10603/7

Изменение кинетики процесса отслеживается по смещению графика изменения рН раствора, а влияние переменного тока на рабочую обменную ёмкость отслеживается по изменению площади над кривой концентрации ионов натрия в растворе.

Результаты опытов представлены на рис.7 и 8.

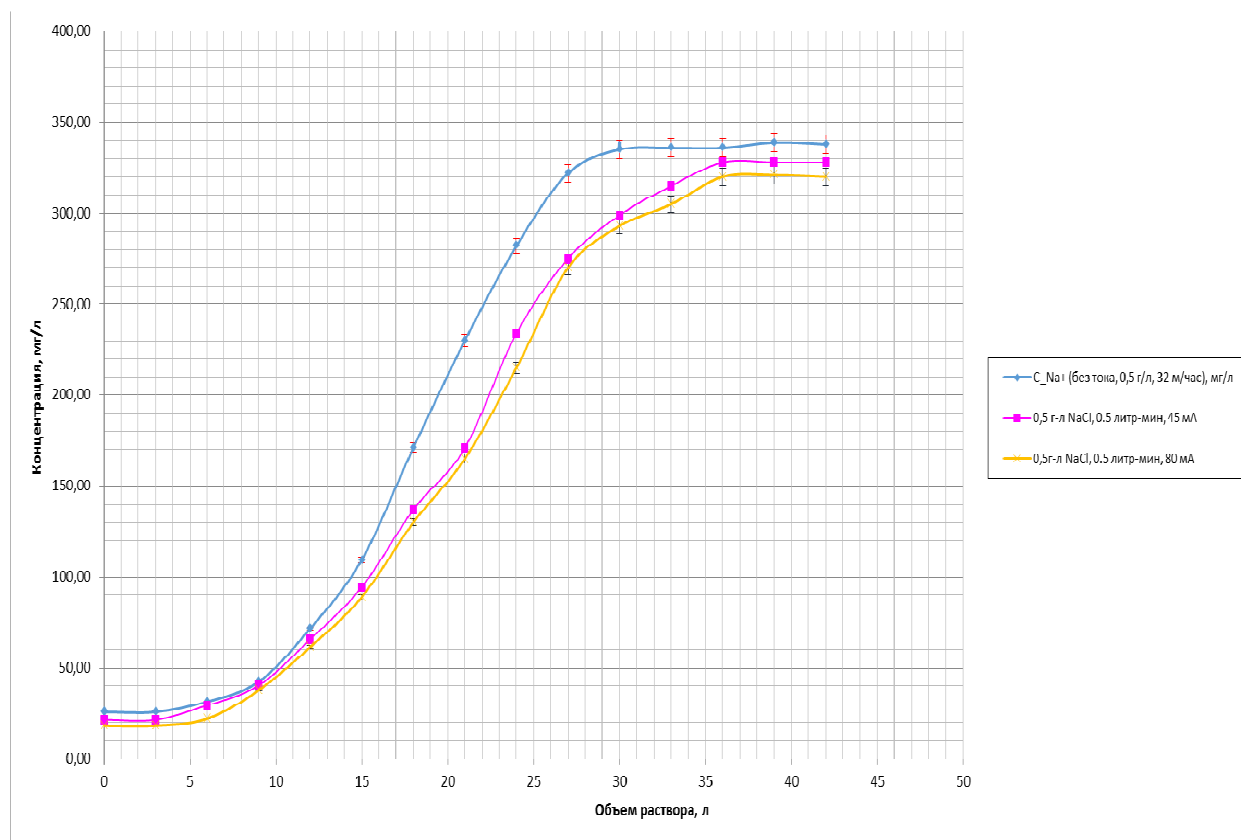


Рис. 7. Изменение концентрации ионов натрия в растворе

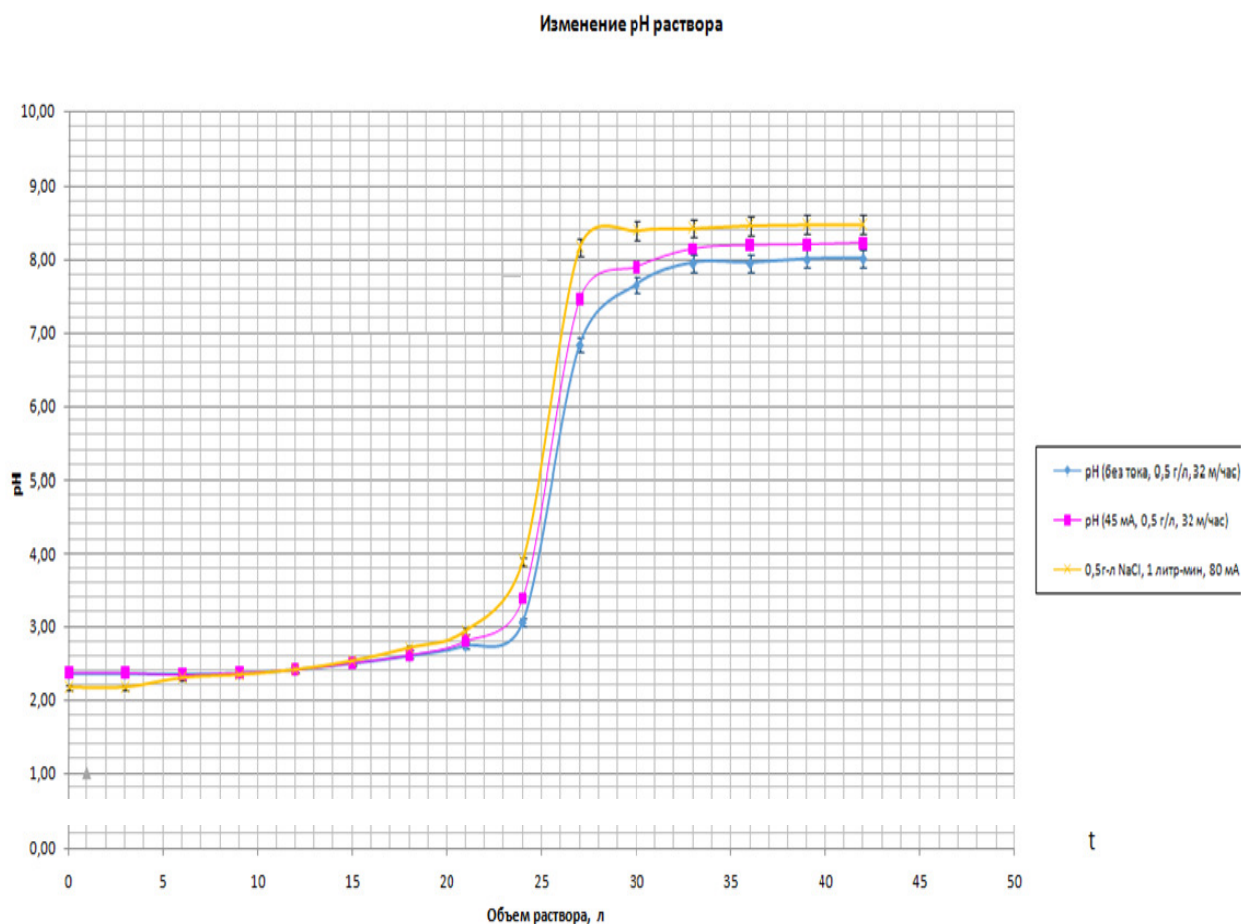


Рис. 8. Изменение водородного показателя pH раствора

Исходя из полученных результатов эксперимента, можно сделать вывод, что предположение подтвердилось: воздействие переменного тока промышленной частоты приводит к изменениям рабочей объемной емкости и кинетики химической реакции.

Список литературы

1. Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена / под ред. С.М. Черноброва. М.: Издательство иностранной литературы, 1962. 491 с.
2. Магдыч Е.В., Акимов А.М., Кошель Н.Д. Регенерация ионитов в электрическом поле в химической технологии теплоносителя // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Химия, химическая экология и технология». 2008. № 16. С.73-77.
3. Аширов А.Ю. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. 421 с.