

*Мидько Алена Олеговна, магистрант, Высшая школа технологии и
энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: alenaspb147789@gmail.com

ПОЛИАКРИЛАТ НАТРИЯ В КАЧЕСТВЕ СУПЕРПОГЛАЩАЮЩЕГО СРЕДСТВА

Аннотация: Данная работа посвящена изучению синтеза, свойств и практического применения класса суперабсорбирующих полимеров на основе акрилового полиакрилата натрия. Для синтеза использовались методы растворной, эмульсионно-гелевой полимеризации. Каждый абсорбент в основном характеризовался его равновесной способностью к водопоглощению и скоростью абсорбции. Характеристики набухания полимеров оценивали с точки зрения изменения переменных полимеризации, которые включают тип и количество сшивающего вещества, состав мономера и процесс полимеризации, температуру, концентрацию инициатора, концентрацию мономера, скорость перемешивания и размер частиц продукта. Также была изучена зависимость набухания от солености, ионной силы и pH. Стремительный рост нанотехнологий привел к расширению исследований САП и САПК для применения в биомедицине, биотехнологии и передовых технологиях. Приводятся примеры исследовательских работ САП и САПК, опубликованных в рецензируемых статьях.

Ключевые слова: суперабсорбирующие полимеры, набухающие свойства САП, суперабсорбирующие поликомпозиаты, водопоглощающая способность, реакция сшивания.

Annotation: This work is devoted to the study of the synthesis, properties and practical application of a class of superabsorbent polymers based on sodium acrylic

polyacrylate. The methods of solution, emulsion-gel polymerization were used for the synthesis. Each absorbent was mainly characterized by its equilibrium water absorption capacity and absorption rate. The swelling characteristics of polymers were evaluated in terms of changes in polymerization variables, which include the type and amount of crosslinking agent, monomer composition and polymerization process, temperature, initiator concentration, monomer concentration, mixing rate and particle size of the product. The dependence of swelling on salinity, ionic strength and PH was also studied. The rapid growth of nanotechnology has led to the expansion of SAP and SAPC research for applications in biomedicine, biotechnology and advanced technologies. Examples of SAP and SAPC research papers published in peer-reviewed articles are given.

Keywords: superabsorbent polymers, swelling properties of SAP, superabsorbent polycomposites, water absorption capacity, crosslinking reaction.

1. Введение

1.1 Определение

В нашей повседневной жизни для выпитывания воды обычно используются хлопок, бумага и губки. Эти материалы поглощают воды всего в несколько раз больше своего веса и обладают довольно плохими свойствами в отношении удержания воды. Однако некоторые типы полимеров и сополимеров действительно обладают высокой водопоглощающей способностью, обладая очень хорошими влагоудерживающими свойствами. Эти полимеры называются суперпоглощающими полимерами, поскольку упомянутый выше суперабсорбирующий полимер может поглощать воду, в несколько тысяч раз превышающую его собственный вес, и удерживать эту воду под давлением. Поглощенная вода может медленно выделяться, когда САП помещают на сухой воздух для поддержания влажности окружающей среды.

Суперабсорбирующие полимеры (САП) - это материалы, обладающие способностью поглощать и удерживать большие объемы воды и водных растворов. Это делает их идеальными для использования в водопоглощающих

изделиях, таких как детские подгузники и прокладки при недержании мочи у взрослых, впитывающие медицинские повязки и средства с контролируемым высвобождением.

1.2 Структурный дизайн суперабсорбирующих полимеров

Макромолекулы, проявляющие растворимость в водных растворах, представляют собой разнообразный класс полимеров, начиная от биополимеров, которые управляют жизненными процессами, и заканчивая синтетическими системами с огромной коммерческой полезностью. Этот класс материалов можно рассматривать как основу для производства верхнепоглощающих полимеров. Следовательно, для создания желаемого суперабсорбирующего полимера фундаментальными являются глубокие знания о гидрофильных полимерах. Свойства раствора и конечные характеристики водорастворимых полимеров определяются специфическими структурными характеристиками сольватированной макромолекулярной основы, которые можно объяснить следующим образом:

Акриловые полимеры - в сухом состоянии – напоминают свернутые клубочки или свиные хвосты.



Рисунок № 1, Акриловые полимеры

Когда эти молекулы помещаются в воду, водородная связь с окружающим их НОН заставляет их разворачиваться и выпрямляться (подобно нитям спагетти).

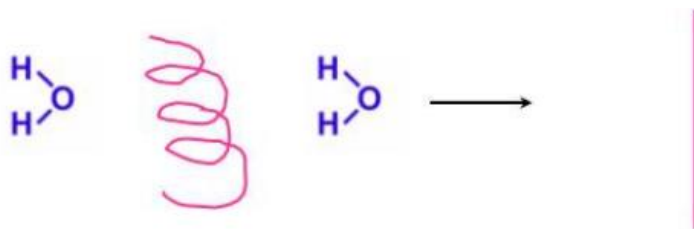


Рисунок № 2, Реакция с водой

Когда молекулы распрямляются, они увеличивают вязкость окружающей жидкости. Вот почему в качестве загустителей используется несколько видов акрилатов. Химия суперпоглощения требует двух вещей: добавления небольших молекул, образующих поперечные связи, между полимерными нитями и частичной нейтрализации групп карбоновых кислот ($-COOH$) вдоль основной цепи полимера ($-COO^-Na^+$).

1.3 Механизм набухания в суперпоглощающих полимерах

Прежде чем обсуждать синтез суперабсорбирующих полимеров, сначала необходимо понять причины, по которым они набухают. Существует несколько механизмов процесса набухания, каждый из которых влияет на конечную способность к набуханию (или удерживающую способность центрифуги УСЦ – это количество 0,9 мас.% солевого раствора, которое САП может удерживать в условиях свободного набухания, когда поверхностная вода была удалена центрифугой). Эти эффекты уменьшают энергию и увеличивают энтропию системы из-за гидрофильной природы САП полимерные цепочки имеют тенденцию диспергироваться в заданном количестве воды (т.е. они пытаются раствориться в воде) (Рисунок 1).

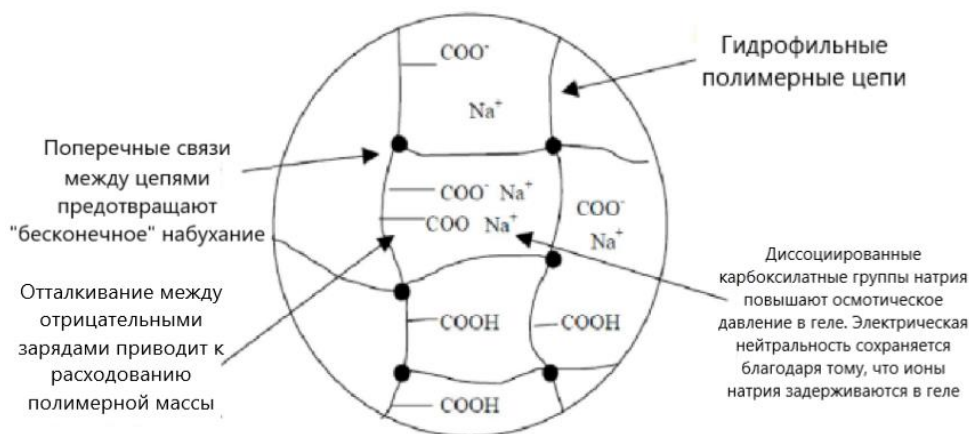


Рисунок № 3, Взаимодействие ионов растворенного вещества с молекулами растворителя, т.е. ионы COO^- и Na^+ притягивают полярные молекулы воды.

1.4 Области применения и преимущества

Коммерчески важными суперабсорбирующими полимерами являются натриевые соли сшитого поли (акриловой кислоты) и привитые сополимеры целлюлозы или акрилонитрила. Суперабсорбирующие полимеры используются в качестве нетканых материалов в трех конкретных сегментах средств личной гигиены: одноразовых подгузниках для младенцев, трусиках пэсе для взрослых от непостоянства и женских прокладках. В одноразовых детских подгузниках суперабсорбирующий полимер используется из расчета 5-6 г на подгузник, тогда как в одноразовых подгузниках для взрослых суперабсорбент используется на прокладку. В средствах внешней женской гигиены содержится только около 1.0-1.5g количество суперабсорбента используется в соответствии с п.1d. На средства личной гигиены приходится более 950/0 рынка производимых суперабсорбентов. Можно использовать крошечную фракцию или весь суперабсорбент:

- Искусственный снег
- Мешки - поглотители воды для поглощения воды из углеводородного топлива и нефти
- Искусственные почвы для гидропоники
- Добавка к буровому раствору, используемая в стволах скважин
- Герметизация подземных образований, стыков в водопроводных

трубах, строительных конструкциях.

- Волоконно-оптические кабели.
- Полимербетонные композиции.
- Статическое разрушающее средство для разрушения скальных конструкций.
- Сгущение сточных вод.
- Поглощение влаги из порошка коксующегося угля.
- Искусственный снег.

Использование: Фильмы, снежные вечеринки, 10 г сухого снежного порошка увеличивают его объем в 60 раз.



Рисунок № 4, Искусственный снег

Механизм действия: Сухой порошок увеличивается в объеме при поглощении воды и напоминает снег.

Супер впитывающие детские подгузники



Рисунок № 5, Пример использования сухого порошка в подгузнике

Использование: Детские подгузники, подушечки для подгузников

Механизм: Многослойная конструкция, которая обеспечивает перенос и распределение мочи к абсорбирующей сердцевинной структуре, где она фиксируется.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

2.1 Введение

Сегодня суперабсорбирующие полимеры производятся с использованием одного из трех основных методов: гелевой полимеризации, суспензионной полимеризации или полимеризации в растворе. Каждый из процессов имеет свои преимущества, но все они обеспечивают стабильное качество продукта.

2.2 Полимеризация геля

Смесь замороженной акриловой кислоты, воды, сшивающих агентов и химических реагентов-инициаторов ультрафиолетового излучения смешивают и помещают либо на движущуюся ленту, либо в большие емкости. Затем жидкая смесь поступает в "реактор", представляющий собой длинную камеру с рядом мощных ультрафиолетовых ламп. Ультрафиолетовое излучение запускает реакции полимеризации и сшивания. Получающиеся "бревна" представляют собой липкие гели, содержащие 60-70% воды. Бревна измельчаются и помещаются в сушилки различного типа. На поверхность частиц может быть нанесен дополнительный сшивающий агент; это "поверхностное сшивание" увеличивает способность продукта набухать под давлением - свойство, измеряемое как впитывающая способность под нагрузкой (ВСН) или впитывающая способность против давления (ВСПД). Высушенные полимерные частицы затем просеиваются для надлежащего распределения частиц по размерам и упаковки. Метод гелевой полимеризации (ГП) в настоящее время является наиболее популярным методом получения суперабсорбирующих полимеров из полиакрилата натрия, которые в настоящее время используются в детских подгузниках и других одноразовых гигиенических изделиях [5].

2.3 Полимеризация раствора

Растворенные полимеры обладают впитывающей способностью

гранулированного полимера, поставляемого в виде раствора. Растворы и могут быть разбавлены водой перед нанесением. Может покрывать большинство поверхностей или использоваться для насыщения. После высыхания при определенной температуре в течение определенного времени в результате получается покрытая подложка с суперабсорбирующими свойствами. Например, этот химический состав можно наносить непосредственно на провода и кабели, хотя он особенно оптимизирован для использования на таких компонентах, как рулонные изделия или листовые подложки.

Полимеризация на основе растворов сегодня широко используется для производства сополимеров, особенно с токсичным мономером акриламида. Этот процесс эффективен и, как правило, имеет более низкие капитальные затраты. В процессе растворения используется раствор мономера на водной основе для получения массы полимеризованного реагентом геля. Собственная энергия реакции полимеризации (экзотермическая) используется для управления большей частью процесса, помогая снизить производственные затраты. Затем реагирующий полимерный гель измельчают, сушат и измельчают до конечного размера гранул. Любая обработка, направленная на улучшение эксплуатационных характеристик сока, обычно проводится после получения конечного размера гранул.

2.4 Приготовление растворов реагентов

А. Раствор мономера

Ледяную акриловую кислоту разбавляли предписанным количеством дважды дистиллированной воды комнатной температуры при слабом магнитном перемешивании. Та же процедура была применена для приготовления растворов акриламида. Акриловая кислота и акриламид являются жидкими и твердыми при комнатной температуре соответственно, поэтому последнему требуется больше времени для перехода в раствор.

Эти два прозрачных раствора хранили во флаконах с плотно закупоренными крышками при комнатной температуре до тех пор, пока не потребуется. Растворы оставляли максимум на пару часов перед началом

реакций.

В. Решение инициатора

К предписанному количеству сильно дистиллированной воды, содержащемуся в стакане объемом 100 мл, добавляли определенное количество перекристаллизованного инициатора при комнатной температуре при встряхивании до получения прозрачного раствора и хранили раствор в прохладном месте (0°C) вдали от света.

С. Решение для перекрестной компоновки

К предписанному количеству дважды дистиллированной воды с магнитным перемешиванием, содержащемуся в мензурке 3100 мл, добавляли уменьшенное количество сшивателя при комнатной температуре и перемешивали до тех пор, пока он не перейдет в раствор, о чем свидетельствует прозрачный внешний вид. Раствор хранят в прохладном месте (0-5 °C), защищенном от света.

Д. Раствор нейтрализатора

К заранее определенному количеству дважды дистиллированной воды~необходимое количество гранул гидроксида натрия или гидроксида калия добавляли на бане со льдом для подавления экзотермичности. Смесь перемешивали с помощью магнита до получения прозрачного холодного раствора. Раствор хранили при комнатной температуре до тех пор, пока не потребуется.

Е. Раствор поверхностно-активного вещества

До определенного количества ароматического углеводорода. добавляли соответствующее количество поверхностно-активного вещества "вода в масле" и нагревали при перемешивании до 80°C, одновременно пропускавая азот через раствор в течение 15 минут.

Ф. Решение для перекрестной компоновки

К определенной части органического углеводорода. маслорастворимый сшивающий агент вводили при комнатной температуре при магнитном перемешивании.

Г. Последовательность сложения

Последовательность добавления и обработки для получения водной дисперсионной фазы проводили следующим образом:

Раствор акриловой кислоты, приготовленный как в [a], обрабатывали раствором нейтрализатора, приготовленным как в [d]. Последний добавляли по каплям через капельницу к первому при слабом магнитном перемешивании на водяной бане со льдом для достижения предписанной частичной степени нейтрализации. Обработка была завершена быстро, после того как был получен прозрачный раствор. К раствору акриламида, приготовленному, как в [a], был добавлен раствор сшивающего вещества [c]. Этот шаг необходим для того, чтобы избежать любого несоответствия кросс-линкера. Следующим шагом было объединение двух вышеуказанных решений, т.е. [a] плюс [d] с [a] плюс [c]. Раствор инициатора [b] был оставлен в стороне от начала реакции, чтобы предотвратить преждевременную полимеризацию. Для получения непрерывной органической фазы раствор сшивающего агента, приготовленный в [t]. Вводили в раствор поверхностно-активного вещества, приготовленный в [e].

2.5 Методология

Шаг 1: Возьмите раствор 1,07 г гидроксида натрия в 10 мл воды в конической колбе объемом 250 мл.

Шаг 2: Приготовьте баню с колотым льдом в стакане объемом 500 мл и вставьте внутрь стакана коническую колбу с NaOH, дайте раствору нагреться до 0°C.

Шаг 3: Поставьте стакан с конической колбой на магнитную мешалку и аккуратно поместите магнитную пробирку в раствор NaOH.

Шаг 4: При энергичном перемешивании медленно добавьте 2,57 г акриловой кислоты по каплям с помощью пипетки

Шаг 5: Достаньте коническую колбу из ледяной бани и поставьте ее непосредственно на мешалку и продолжайте перемешивать, пока раствор не достигнет комнатной температуры.

Шаг 6: К этому раствору добавьте 5,2 мг метиленбисакриламида и 0,1 г

сульфата аммония или калия

Этап 7: Произойдет экзотермическая реакция полимеризации, которую можно провести, прикоснувшись к конической колбе, которая будет немного теплее, и наблюдая за образованием вязкого слоя. Перемешивание продолжают в течение 15-20 минут. Так, чтобы реакция завершилась. Остудите раствор и перелейте его в тигель.

2.6 Материалы и оборудование

Акриловая кислота, NaOH, акриламид, толуол. Магнитная мешалка для дважды дистиллированной воды, мостик электропроводности и мешалки, ванна со льдом, коническая колба, мензурка, фарфоровый тигель и т.д.

2.7 Эксперименты

Согласно обширному исследованию литературы по акриловому анионному САП, наиболее важными переменными реакции, влияющими на конечные свойства, являются следующие:

- a) Тип сшивающего вещества и концентрация.
- b) Тип и концентрация инициатора.
- c) Тип и концентрация мономера(ов).
- d) Тип, размер и количество включенных неорганических частиц (если таковые имеются).
- e) Способ полимеризации.
- f) Температура полимеризации.
- g) Количество и тип используемого поверхностно-активного вещества.
- h) Геометрия мешалки/реактора и скорость перемешивания.
- i) Способ создания пористости или количество и тип порообразователя (если используется).
- j) Сушка; ее способ, температура и время.
- k) Последующая обработка, такая как поверхностное сшивание для повышения прочности набухшего геля.

Каждая из вышеупомянутых переменных оказывает свое собственное индивидуальное влияние на свойства САП. Однако для оптимизации процесса

следует учитывать набор переменных, оказывающих наиболее специфическое влияние на желаемый продукт САП, на основе вышеуказанных переменных факторов реакции синтез суперпоглощающего полимера полиакрилата натрия или калия можно изучить, выполнив следующую серию экспериментов

Эксперимент № 1: Первый эксперимент проводится в соответствии с вышеуказанными этапами со следующим количеством химических веществ:

1. Акриловая кислота - 2,75 мл.
2. NaOH - 1,07г.
3. Акриламид- 5,2мг.
4. Персульфат калия – 0,1 г.

Эксперимент № 2: Повторение эксперимента № 1, за исключением изменения количества гидроксида натрия и акриламида. Полученный полимер был липким, как гель, и набухал в воде.

Эксперимент № 3: Повторение эксперимента 2, за исключением изменения количества акриламида, акриловой кислоты. Полученный полимер представлял собой липкий гель с высокой степенью набухания в воде.

Эксперимент № 4: Репутация ехр 3, за исключением изменения природы нейтрализатора, которым является КОН вместо NaOH, полимер был получен в виде аморфного водорастворимого геля.

Эксперимент № 5: Повторение эксперимента 4, за исключением изменения природы сшивающего агента, который находится вместо акриламида в толуоле. Полимер был получен по аналогии с экспериментом 3.

Эксперимент № 6: Повторение опыта 5, за исключением изменения природы инициатора полиакриловой кислоты вместо акриловой кислоты. Полученный полимер представлял собой липкий гель с высокой степенью набухания в воде.

Эксперимент № 7: Повторение опыта 6, за исключением изменения температуры, полученный полимер представлял собой липкий гель с высокой степенью набухания в воде.

Измерения набухания



Рисунок № 6, Образец полиакрилата натрия САП-Гелеобразное состояние 2.5

Просеянный образец полимера ($1.0\text{г.} \pm 0.001\text{г.}$) диспергировали в 2 л дважды дистиллированной воды или соответственно физиологического раствора и давали набухнуть при умеренном перемешивании. Устойчивое состояние, или равновесное набухание, определяли путем выдерживания в течение ночи для абсорбции. Набухшие образцы фильтровали через проволочную сетку размером 100 мм, а поверхностную воду тщательно высушивали с помощью куска мягкого пенополиуретана с открытыми порами до тех пор, пока они больше не соскальзывали с сита, когда его держали вертикально. Для измерения кинетики набухания или скорости абсорбции, поглощенные водой образцы отбирали из раствора через определенные промежутки времени, а затем подвергали измерениям набухания с помощью описанной выше процедуры. Чтобы получить надежное значение набухания в любой момент времени, были усреднены пять значений, хотя значение стандартного отклонения для этого метода составляет $\pm 2,1$ г поглощенной воды на г сухого суперабсорбента. Количественные показатели набухания были рассчитаны, как показано в следующем уравнении.

$$Q_t = [q_{ss} - q_{ds}]I$$

где: Q_t - степень набухания в момент времени t.

q_{ss} - масса набухшего или водопоглощенного полимера в момент времени

q_{ds} - масса исходного сухого суперабсорбента.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

3.1 Представление результатов эксперимента

Основываясь на экспериментальных данных, результаты могут быть

представлены следующим образом

Эксперимент № 2: Повторение эксперимента № 1 предполагает изменение количества гидроксида натрия и акриламида.

Эксперимент № 3: Повторение эксперимента 2. ожидайте изменения количества акриламида, акриловой кислоты.

Эксперимент № 4: Повторение эксперимента 3 ожидается путем изменения природы нейтрализатора, который представляет собой КОН вместо NaOH.

Эксперимент № 5: Повторение эксперимента 4 предполагает изменение природы сшивающего агента, который находится вместо акриламида в толуоле.

Эксперимент № 6: Повторение опыта 5 предполагает изменение природы инициатора - полиакриловой кислоты вместо акриловой кислоты.

Эксперимент № 7: Повторение эксперимента 6 предполагает изменение температуры.

Для получения желаемой степени частичной нейтрализации акриловой кислоты, т.е. требуемого соотношения кислота/соль, необходимое количество гидроксида натрия оценивали по следующей таблице. Для получения последнего разбавленную акриловую кислоту (30 г в 7,5 г дважды дистиллированной воды) титровали 25,4%-ным раствором NaOH. Согласно. таблица 750/0 степень нейтрализации (молярное соотношение кислоты и соли 1/3) получается при низком значении pH.

Количество сорбции воды количественно определяется степенью набухания, т.е. отношением объема или массы набухшего полимера к объему или массе сухого полимера 4. Объемная степень набухания сшитых полимеров просто обратно пропорциональна объемным долям полимера. Первую можно легко предсказать как функцию параметра взаимодействия полимер-растворитель, плотности сшивки и ионного содержания полимера, пренебрегая электростатическими.

Таблица № 1, Краткое описание влияния переменной реакции на набухающие свойства САП

Эксп. №	Мономер		Кросс-линкер		Температура нейтрализатора			Степень набухания
	Акриловая к-та	мл	Акриловая к-та	мг	NaOH	мг	°C	
1	Акриловая к-та	2,57	Акриловая к-та	5,2	NaOH	1,07	50°C	Низкая
2	..	7,7	..	15,6	..	3,21	65°C	Умеренная
3	..	15,42	..	31,2	КОН	6,42	80°C	Высокая

Способность САП к набуханию - эффекты сшивания и нейтрализации

Часть-1

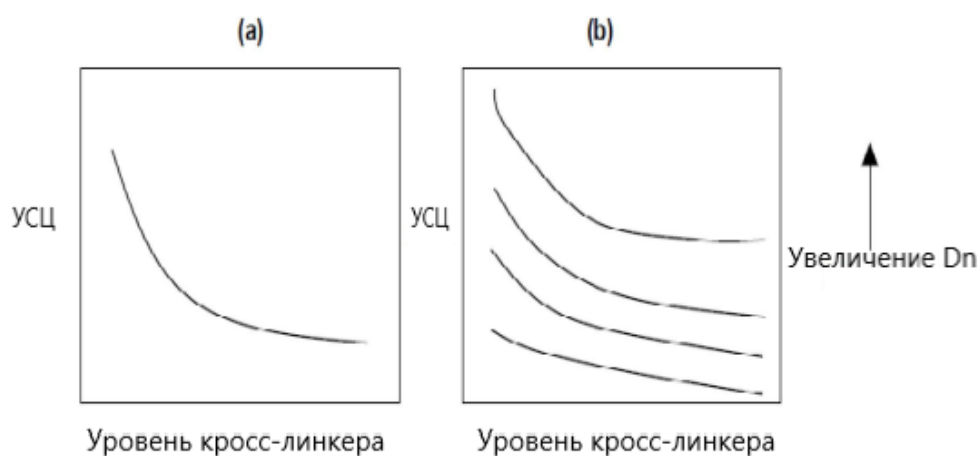


Рисунок № 7, Влияние сшивания на способность к набуханию

При фиксированной степени нейтрализации (D_n) способность суперабсорбирующего полимера уменьшается с увеличением доли сшивающего вещества (при набухании в физиологическом растворе).

При изменении D_n кривые показывают аналогичные тенденции, но наклоны меняются. Чем выше D_n , тем круче кривая.

Когда полимеры находятся в деионизированной воде, наблюдается большая разница в УСЦ от 0% до 20%, но эта разница менее выражена с увеличением D_n .

На рисунке ниже представлена репрезентативная кривая кинетики набухания гибридного образца САП в дистиллированной воде. Определяют массу влажной бумаги плюс набухший полимер (А), а затем рассчитывают впитывающую способность образца в г/г после поправки на вес сухой бумаги и

количество воды, поглощенной при идентичных условиях. только на бумаге при отсутствии образца (уравнение 5). Каждый тест предпочтительно повторять 3-5 раз, а результаты усреднять.

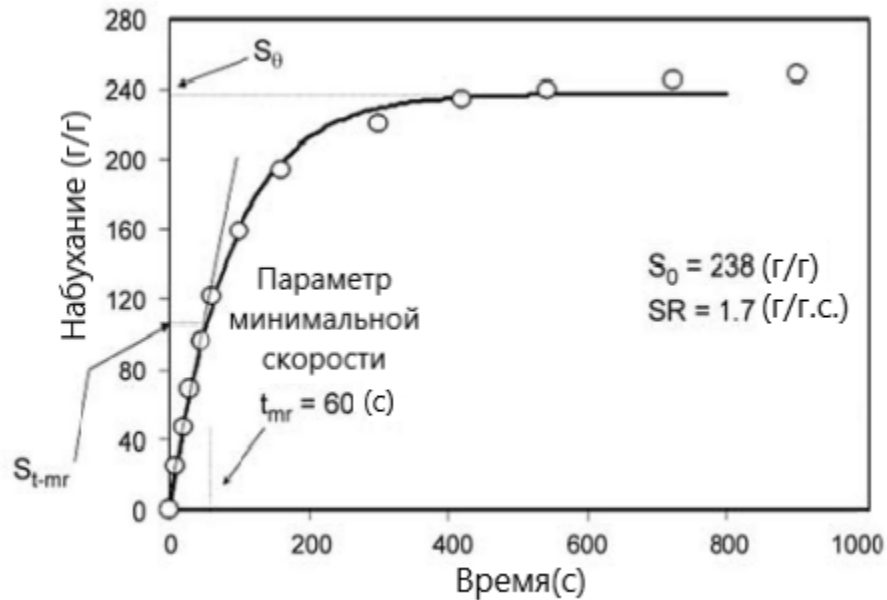


Рисунок № 8, Кривая кинетики набухания гибридного образца

$WC = (A - B - W1) / W1$ (5), где B - влажная бумага без полимера. Предполагая монотонное поглощение в течение 60 с, оценка скорости впитывания сока (г/гр.с) может быть получена путем деления значения WC на 60.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

САП создали очень привлекательную область с точки зрения свойств при сверхбухании, химического состава и проектирования различных конечных применений. Работая в этой области, мы всегда имеем дело с водой, водными средами и связанными с биологией системами. Таким образом, мы все чаще гуляем по зеленой зоне, становясь более экологичными за счет замены синтетических материалами на биологической основе, например, полисахаридами и полипептидами. Это, однако, долгосрочная перспектива. Более или менее, акриловое королевство расширит свое господство на будущих рынках. Наличие воды в почве имеет важное значение для развития растительности. Жидкая вода обеспечивает питание растений питательными элементами, что позволяет

растениям добиться лучшей скорости роста. Представляется интересным использовать существующий водный потенциал за счет сокращения потерь воды, а также обеспечения лучших условий жизни для растительности. Принимая во внимание водопоглощающие свойства сырья из сока, все чаще изучаются возможности его применения в сельском хозяйстве для решения определенных сельскохозяйственных проблем. САП успешно используются в качестве удобрения для почвы в садоводстве для улучшения физических свойств почвы с учетом увеличения их влагоудерживающей способности и/или удержания питательных веществ в песчаных почвах, сравнимых с соленой глиной или суглинком.

Гидрогели САП потенциально влияют на проницаемость почвы, плотность, структуру и текстуру, скорость испарения и инфильтрации воды через почву. В частности, гидрогели снижают частоту полива и склонность к уплотнению, останавливают эрозию и сток воды, а также повышают аэрацию почвы и микробиологическую активность [13]. В засушливых районах использование САП в песчаной почве (макропористая среда) для увеличения ее влагоудерживающей способности, по-видимому, является одним из наиболее важных средств улучшения качества растений. Частицы САП можно рассматривать как «миниатюрные резервуары для воды» в почве. Вода будет удаляться из этих резервуаров по требованию корней за счет разницы осмотического давления. Гидрогели также действуют как система контролируемого высвобождения, способствуя усвоению некоторых питательных элементов, плотно удерживая их и задерживая их растворение. Следовательно, растение все еще может получать доступ к некоторым удобрениям, что приводит к улучшению темпов роста и производительности.

С другой стороны, САП в сельском хозяйстве можно использовать в качестве удерживающих материалов в виде добавок к семенам (способствующих прорастанию и появлению всходов), покрытий для семян, корнеплодов, а также для иммобилизации регулятора роста растений или защитных средств для контролируемого высвобождения.

Библиографический список:

1. Эксперименты по общей химии А. Элиас University Press Pvt Ltd. Hyderabad. Научный журнал Macromol Chem Phys, 1994. С. 501-552.
2. Гель, Википедия, свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/gel> (дата обращения: 06.04.2023).
3. Бухгольц Ф. Л., Грэм А. Т., Современная технология суперабсорбирующих полимеров. Wiley-VCH, Нью-Йорк, 1998. 490 с.
4. Браннон-Пеппас Л., Харланд Р. С., Технология абсорбирующих полимеров. Elsevier, Амстердам, 1990. Ч. 1. 201 с.
5. Андраде Дж. Д. Гидрогели для медицинского и смежных применений, ACS Symp. Серия, 31, Американская газета, 1990. 82 с.
6. По Р. Водопоглощающие полимеры: Обзор патентов, J Macromol. Научный журнал Macromol Chem Phys, 1994. С. 607-662.
7. Бухгольц Ф. Л., Пеппас Н. А., Наука и технология суперабсорбирующих полимеров. Серия симпозиумов ACS, 573, Американское химическое общество, Вашингтон, округ Колумбия, 1994. 516 с.
8. Омидиан Х., Зохуриан-Мехр М. Дж., Кабири К. Ш. Привлекательность химии полимеров: Исследования синтеза и набухания прожорливых гидрогелей в передовой академической лаборатории, J Polymer Mater, 2004. С. 281-292.
9. Суперабсорбирующие гидрогели, веб-сайт ведущего иранского производителя суперабсорбирующих полимеров [Электронный ресурс]. URL: www.rahabresin.com (дата обращения: 06.04.2023).
10. Даял У., Мехта С. К., Чоудхари М. С., Джайн Р. Синтез акриловых суперабсорбентов, J Macromol Sci-Rev Macromol Chem Phys, 1999. С. 507-525.
11. Суперпоглощающие материалы, веб-сайт Европейской ассоциации одноразовых материалов и нетканых материалов (EDANA) [Электронный ресурс]. URL: www.edana.org (дата обращения: 06.04.2023).
12. Матур А. М., Мурджани К. К., Скрэнтон А. Б., Методы синтеза

гидрогелевых сеток: обзор, Джей Макром, Научный журнал Macromol Chem Phys, 1996. С. 405-430.