

## ENGINEERING SCIENCES

# О ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАЮЩЕГО РЕАГЕНТА НА ОСНОВЕ ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА ГИДРОХЛОРИДА

К. т. н. *Нижник Т. Ю.*<sup>1</sup>,

К. х. н. *Баранова А. И.*<sup>2</sup>,

Доцент, к. х. н. *Маглевая Т. В.*<sup>3</sup>,

Д. т. н. *Жартовский С. В.*<sup>4</sup>,

Профессор, д. мед. н. *Стрикаленко Т. В.*<sup>5</sup>

<sup>1</sup> НТУУ «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», г. Киев

<sup>2</sup> Научно-технологический центр «Укрводбезпека», г. Киев

<sup>3</sup> Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗУ

<sup>4</sup> Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, г. Киев

<sup>5</sup> Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30042019/6465](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30042019/6465)

**ARTICLE INFO**

**Received:** 15 February 2019

**Accepted:** 20 April 2019

**Published:** 30 April 2019

**KEYWORDS**

“Akvaton-10”, PHMG-HCl (polyhexamethylene guanidine hydrochloride), biocide, effect Tomsa, hydrodynamic resistance of water.

**ABSTRACT**

Proofs of the hypothesis about the possibility of use of Akvaton-10 reagent (PHMG-HCl) in technologies of drinking water treatment as an effective biocide and reagent for decreasing the hydrodynamic resistance of water is considered in this article. Results of the carried-out work allow to think of successful use in practice of Akvaton-10 reagent as for cleaning and disinfecting of drinking water, and as the highly effective agent reducing the hydrodynamic resistance of water for the solution of problems of energy saving and increase in overall performance of various hydraulic systems.

**Citation:** Нижник Т. Ю., Баранова А. И., Маглевая Т. В., Жартовский С. В., Стрикаленко Т. В. (2019) О Гидродинамической Активности Обеззараживающего Реагента на Основе Полигексаметиленгуанидина Гидрохлорида. *World Science*. 4(44), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/30042019/6465

**Copyright:** © 2019 Нижник Т. Ю., Баранова А. И., Маглевая Т. В., Жартовский С. В., Стрикаленко Т. В. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Введение.** Актуальность задачи энергосбережения для компаний, обеспечивающих обработку и транспортировку воды, не вызывает сомнений, так как значительную часть стоимости питьевой воды составляют затраты на электроэнергию, что обусловлено, в том числе, высоким гидродинамическим сопротивлением воды в трубопроводах.

Одним из серьезных факторов, значительно ухудшающих условия транспортирования питьевой воды, в свою очередь, являются коррозия и биообрастание трубопроводов питьевого водоснабжения [1], которые приводят к сокращению внутреннего сечения труб и повышению гидродинамического сопротивления воды, к существенному росту энергетических затрат на транспортирование по трубопроводам воды потребителям [2].

То есть, решение задачи снижения гидродинамического сопротивления воды имеет большое значение для увеличения пропускной способности трубопроводов.

Для решения аналогичной проблемы трубопроводного транспорта, обеспечивающего перекачивание нефти и нефтепродуктов, достаточно давно используют реагенты, позволяющие реализовать явление, открытое более полувека тому назад английским химиком Томсом (эффект Томса) [3, 4]. Суть явления заключается в снижении трения между турбулентным потоком и трубопроводом при введении в поток перекачиваемой жидкости небольших количеств полимерных добавок, которые способны снижать гидродинамическое сопротивление потока перекачиваемой жидкости. Практическое применение эффекта Томса при транспортировке воды по магистральным и локальным трубопроводам позволило бы значительно увеличить их производительность, снизить энергопотребление и рабочее давление в трубах, повысить безопасность эксплуатации трубопроводов. Однако, наиболее часто используемые в обработке воды водорастворимые гидродинамически активные линейные полимеры – полиоксиэтилен (ПОЭ) и полиакриламид (ПАА) [5] поддаются деструкции при сдвиговых усилиях в трубе и при хранении, в результате чего эффект Томса исчезает [6, 7].

До настоящего времени нет единой теории, объясняющей эффект Томса. Так, авторы [8, 9] уделяют значительное внимание молекулярным аспектам снижения гидродинамического сопротивления и считают, что величина достигаемого гидродинамического эффекта в значительной степени определяется состоянием макромолекулярного клубка полимера и его размерами, которые являются следствием конформации макромолекулярной цепи, зависящей от состава растворителя (воды) и внешних условий.

Анализ источников литературы и ряда материалов собственных исследований по данному вопросу позволили сформулировать рабочую гипотезу о возможности использования для снижения гидродинамического сопротивления в водопроводной сети полимерного биоцидного реагента «Акватон-10». Реагент прошел санитарно-гигиеническую и токсикологическую экспертизу и с 1998 года разрешен МОЗ Украины для применения в технологиях обработки питьевой воды в соответствии с разработанными методическими документами [10, 11]. Водные растворы реагента «Акватон-10» проявляют высокие биоцидные и антикоррозионные свойства, являются стабильными при использовании и хранении в течение более 1 года и применяются при различных типах водоподготовки.

Действующим веществом реагента «Акватон-10» является гуанидиновый полимер полигексаметиленгуанидина гидрохлорид (ДВ - ПГМГ-гх; разработчик и производитель – НТЦ «Укрводбезпека», г. Киев).

**Целью** настоящей работы было обоснование гипотезы о возможности использования реагента «Акватон-10» в технологиях обработки питьевой воды как эффективного биоцида и как реагента, снижающего гидродинамическое сопротивление воды.

#### **Результаты исследований и их обсуждение.**

1. Оригинальная технология получения (синтеза) ПГМГ-гх, запатентованная нами [12], позволяет получать ПГМГ-гх с параметрами полимерных молекул, которыми обладают гидродинамически активные полимеры (высокая молекулярная масса, линейность макромолекул, наличие поверхностной активности, определенное молекулярно-массовое распределение и другие параметры) [4].

2. При вискозиметрических исследованиях водных растворов ПГМГ-гх, полученного по разработанному способу [12] и проведенных по методике [13], установлено, что концентрационная зависимость приведенной вязкости водного раствора ПГМГ-гх в концентрационном интервале 1-5% имеет типичный вид для полиэлектролитов с эффектом полиэлектролитного набухания: наблюдается резкое увеличение приведенной вязкости по мере снижения концентрации ПГМГ-гх. Это явление связано с разворачиванием клубков макромолекул, которые принимают все более развернутую конформацию, и обусловлено нарушением компенсации положительного заряда на макромолекулах подвижными противоионами при разведении раствора полимера [14, 15]. Однако, при концентрациях ПГМГ-гх  $\leq 0,5\%$  наблюдали аномально резкое падение приведенной вязкости, что может свидетельствовать в пользу эффекта структурирования воды с участием макромолекул ПГМГ-гх. Такой эффект структурирования воды при больших скоростях потока препятствует образованию турбулентности в потоке, приводя к снижению гидродинамического сопротивления в потоке [8].

3. В натуральных испытаниях водных растворов ПГМГ-гх в потоке с высокой скоростью струи при использовании водного огнетушителя ВВШ-9 (производства ПрАТ «Макиевский завод «Факел») определяли длину струи, время выброса заряда, время тушения пожара класса

А (при использовании в качестве водного огнетушащего вещества растворов ПГМГ-гх с концентрацией 0 – 5 %) [16]. Установлено, что добавление к воде небольших концентраций ПГМГ-гх приводит:

- к увеличению дальности подачи струи на 20-30%;
- к ускорению выброса заряда огнетушителя на 20-22 %;
- к сокращению времени тушения пожара класса А на 15-20 %.

Полученные результаты [16] позволяют говорить о значительном улучшении огнетушащих свойств исследуемых водных растворов гуанидиновых полимеров в сравнении с водой, что непосредственно связано с улучшением текучести водных растворов ПГМГ-гх, в исследуемом диапазоне концентраций, то есть о наличии у полимера ПГМГ-гх гидродинамической активности (способности снижать гидродинамическое сопротивление воды – эффект Томса).

По нашему мнению, проявление гидродинамической активности ПГМГ-гх в водных растворах связано с конформационными изменениями, происходящими в макромолекулах ПГМГ-гх во время движения растворов в потоке. Известно [17], что ПГМГ-гх является полиэлектролитом, его макромолекулы обладают сильным положительным зарядом, который скомпенсирован в водном растворе подвижными противоионами  $\text{Cl}^-$ . При снижении концентрации полимера компенсация заряда нарушается и макромолекулы принимают более развернутую конформацию за счет полиэлектролитного эффекта, а поток способствует их ориентации преимущественно вдоль потока.

При вискозиметрических исследованиях эффект структурирования воды под воздействием линейных макромолекул ПГМГ-гх проявился в виде аномального снижения приведенной вязкости, поскольку скорость потока была не очень высокой, а поток в капилляре вискозиметра был ламинарным. Тогда как в опытах с высокой скоростью потока эффект структурирования воды макромолекулами ПГМГ-гх препятствовал образованию турбулентности и приводил к снижению гидродинамического сопротивления воды, то есть к проявлению эффекта Томса [8].

Поскольку изменение молекулярных характеристик полимеров в растворах сильно зависит от внешних условий [9, 18], то достичь наиболее высокой гидродинамической эффективности полимера можно выбором оптимальных условий, способствующих наибольшему разворачиванию полимерного клубка.

Еще одним возможным фактором, способствующим проявлению гидродинамической активности ПГМГ-гх, может быть образование пристенного адсорбционного слоя из макромолекул ПГМГ. По мнению [19] образование из молекул полимерных противотурбулентных гидродинамически активных агентов пристенного адсорбционного слоя приводит к снижению турбулентных всплесков в переходном слое и стабилизирует ламинарный подслой. Кроме этого, в проявлении влияния пристенного адсорбционного слоя на ламинаризацию турбулентного потока существенную роль оказывает структура растворителя – воды [20] и что вода, как растворитель и компонент структуры полимера, обеспечивает снижение гидродинамического сопротивления турбулентного потока [21].

В работе [22] также высказано предположение о том, что макромолекулы полимерных противотурбулентных присадок концентрируются в пристеночной области, где и происходит взаимодействие макромолекул с зарождающимися вихрями и в результате чего снижается гидродинамическое сопротивление.

Ранее нами было показано [23 -25], что ПГМГ-гх обладает высокой адсорбционной способностью за счет строения макромолекулярных звеньев, имеющих в своем составе полярную гуанидиновую группировку и неполярную гексаметиленовую. Такое строение макромолекул позволяет ПГМГ-гх быстро и активно адсорбироваться на поверхностях практически любой физической и химической природы с образованием достаточно прочного адсорбционного слоя из макромолекул ПГМГ-гх.

4. Для изучения механизма адсорбционного взаимодействия ПГМГ-гх с поверхностью методом ИК-спектроскопии использовали, как модель, поверхность высокодисперсного кремнезема. Было установлено [26], что ПГМГ-гх эффективно взаимодействует с поверхностью за счет образования сильных водородных связей между аминогруппами полимера и свободными силанольными группами поверхности кремнезема. Показано, что при адсорбции ПГМГ-гх в количестве до  $\approx 60\%$  от монослоя одно полимерное звено

взаимодействует с одной силанольной группой. При большем содержании ПГМГ-гх в монослое значительная часть звеньев макромолекул остается свободной.

Такая необычная экспериментально полученная зависимость свидетельствует о том, что начальная стадия образования адсорбционного слоя из макромолекул ПГМГ-гх на поверхности идет путем расположения макромолекул параллельно поверхности, а все функциональные гуанидиновые группы макромолекул ПГМГ-гх связаны силанольными группами кремнезема. При дальнейшем заполнении адсорбционного слоя вследствие конформационных ограничений, накладываемых поверхностью, и статистических конформаций макромолекулярных клубков линейных макромолекул ПГМГ-гх в растворе, полимерная цепь при адсорбции связывается с поверхностью за счет небольшого количества (10-15 %) своих звеньев, а остальные звенья полимерной цепи остаются свободными [24] и располагаются в приповерхностном слое в виде «петель» и «хвостов» вертикально к поверхности [27].

Макромолекулы ПГМГ-гх образуют рыхлый адсорбционный слой, т. к. силы электростатического отталкивания между свободными (не связанными) звеньями полимера не позволяют плотно упаковаться макроцепям возле поверхности. Рыхлая упаковка в приповерхностном слое макромолекул способствует сильной гидратации макромолекул ПГМГ-гх (ассоциации молекул воды с макромолекулами ПГМГ), то есть структурированию молекул воды, что может быть фактором, гасящим турбулентные проявления в пристенном слое, а адсорбированные макромолекулы этого слоя могут играть решающую роль в снижении гидродинамического сопротивления.

О значительном влиянии ассоциации молекул воды с макромолекулами полимера, проявляющего гидродинамическую активность в потоках воды, показано в работе [21], автор которой считает, что макромолекулы ПОЭ адсорбируются на поверхности трубы и перпендикулярно ориентируются к ней в виде своеобразной решетки. При этом каждая макромолекула покрыта тетрамерами воды, создающими слабое взаимодействие с другими ассоциатами воды. Это усиливает текучесть в пристенных участках, которая гасит частично или полностью вихри турбулентного потока, увеличивая зону ламинарного течения воды.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что способность ПГМГ-гх снижать гидродинамическое сопротивление в значительной степени обусловлена его молекулярными характеристиками: а) наличием полиэлектролитного эффекта, способствующего разворачиванию линейных макромолекул ПГМГ-гх в потоке воды и б) высокой адсорбционной способностью, обеспечивающей образование пристенного адсорбционного слоя. Макромолекулы этого слоя взаимодействуют с молекулами воды, способствуя их структурированию, что приводит к ламинаризации потока и снижению гидродинамического сопротивления.

**Выводы.** Высказанное нами предположение о способности реагентов на основе ПГМГ-гх проявлять гидродинамическую активность в водных растворах и возможности применения этих реагентов для снижения гидродинамического сопротивления в водопроводной сети требует дальнейших исследований.

Анализ данных литературы и результатов собственных исследований позволяют думать об успешном использовании на практике реагента «Акватон-10» как для очистки и обеззараживания питьевой воды, так и в качестве высокоэффективного агента, снижающего гидродинамическое сопротивление воды для решения проблем энергосбережения и повышения эффективности работы различных гидравлических систем (транспортирования питьевой воды, водоотведения и водоотлива, канализационных систем) без привлечения дополнительных мощностей и изменения их конструкции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воинцева И. И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида / И. И. Воинцева, Т. Ю. Нижник, Т. В. Стрикаленко, А. И. Баранова // Вода: химия и экология. – 2018, № 10-12. – С. 99-108.
2. Технический справочник по обработке воды. – «ДЕГРЕМОН», СПб.: «Новый журнал», 2007– 1696 с.
3. Toms V. A. Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers // in Proceedings of the 1st International Congress on Rheology - 1949, V. 2. - North Hol-land, 1949. - P. 135–141.
4. Хойт Д. У. Влияние добавок на сопротивление трения в жидкости // Труды американского общества инженеров-механиков. Серия D. Теоретические основы инженерных расчетов. –1971, No 2. –С. 1–31.
5. Николаев А. Ф. Водорастворимые полимеры / А. Ф. Николаев, Г. И. Охрименко - Л.: Химия, 1979. - 61с.

6. Неронова И. А. Деструкция полиэтилена и ее связь со снижением сопротивления трения в турбулентном потоке / И. А. Неронова // *Механика турбулентных потоков: сборник.* – М.: Наука, 1980. – С. 364–368.
7. Полиакриламид /Под ред. В. Ф. Куренкова - М.: Химия, 1979. - 61с.
8. Седов Л. И. О снижении гидродинамического сопротивления добавками полимеров / Л. И. Седов и др. // *Механика турбулентных потоков: сб.* – М.: Наука, 1980. – С. 7–28
9. Ткачук Ю. Я. Энергосбережение за счет использования эффекта Томса // *Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету.* - Суми: СумДУ, 2007 - Ч.2 - С.93.
10. Методичні рекомендації щодо застосування засобу “Акватон-10” для знезараження об’єктів водопідготовки та води при централізованому, автономному та децентралізованому водопостачанні. Затверджені Наказом МОЗ України 26.02.2010. №16-2010. – К.: МОЗ України, 2010. – 31с.
11. Реагенты комплексного действия на основе гуанидиновых полимеров. // *Выпуски №№ 1 - 4.* – К., 2003, 2004, 2005, 2018.
12. Нижник Ю. В. Способ получения полигуанидинов. Патент Украины №79720/ Баранова А. И., Мариевский В. Ф. Федорова Л. Н., Надтока О. Н., Нижник Т. Ю. - Опубл. 10.07.2007 р. в Бюл. № 10, 2007 г.
13. Твердохлебова И. И. Конформация макромолекул (вискозиметрический метод оценки). // М.: Химия, 1981. – 284 с.
14. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. - 3-е изд. // М.: Химия, 1978. - 544 с.
15. Нижник В. В. Фізична хімія полімерів. Підручник. / В. В. Нижник, Т. Ю. Нижник // К.: Фітосоціоцентр, 2009. - 424с.
16. Жартовський В. М. Застосування полімерної поверхнево-активної речовини гуанідинового ряду з метою підвищення вогнегасних властивостей води / В. М. Жартовський, Т. В. Магльована, С. В. Жартовський // *Пожежна безпека: теорія і практика.* — 2012, №12.- С. 35-40.
17. Воинцева И. И. Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы [Монография] / И. И. Воинцева, П. А. Гембицкий. // М.: ЛКМ-пресс. 2009. - 303 с.
18. Симоненко А. П. Основные закономерности эффекта Томса и влияние различных факторов на его величину /А. П. Симоненко, Н. В. Быковская, Н. А. Дмитренко, П. В. Асланов. // *Вести Автомобильно-дорожного института* – 2016 – N 2(19). - С. 66-73.
19. Tsukahara T. PIV and DNS analyses of viscoelastic turbulent flows behind a rectangular orifice / T. Tsukahara, M. Motozawa, D. Tsurumi, Y. Kawaguchi. // *International Journal of Heat and Fluid Flow.* – 2013, V. 41. - P. 66-79.
20. Ясюк Т. И. Применение водорастворимых полимеров для снижения гидродинамического сопротивления трения /Т. И. Ясюк, Е. А. Вязкова, Е. Ю. Анисимова, Н. Б. Цырендациев, Н. Л. Панасенко, И. И. Цыбуля // *Вестник Евразийской науки.* - 2018, №3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://esj.touday/PDF/35SAVN318.pdf>.
21. Николаев А. Ф. Эффект Томса с использованием новых представлений о структуре воды /Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета). – 2009, № 6 (32) – С.76-79.
22. Валиев М. И. К вопросу о механизме действия высокомолекулярных полимерных противотурбулентных присадок / М. И. Валиев, В. В. Жолобов, Е. И. Тарновский // *Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов* – 2013, №3(11). – С. 18-26.
23. Нижник Т. Ю. Роль адсорбционных явлений в борьбе с биообрастаниями в системах водоснабжения/ Т. Ю. Нижник, А. И. Баранова, В. В. Нижник // *Зб. матеріалів III науково-практичної конференції «Вода в харчовій промисловості».* - Одеса: ОНАХТ, 2012. - С.74-76.
24. Нестеров А. Е. Фазовое состояние растворов и смесей полимеров/ А. Е. Нестеров, Ю. С. Липатов // *Киев.: Наукова думка, 1987.* - 167 с.
25. Баранова А. И. Способ обеззараживания воды и композиция для реализации этого способа/ А. И. Баранова, В. Ф. Мариевский, Ю. В. Нижник// Патент Украины №75335. 2006. Б.И. № 4
26. Нижник Т. Ю. Многофункциональная фильтрующая загрузка на основе диоксида кремния, модифицированного полигексаметиленгуанидина гидрохлоридом / Т. Ю. Нижник, В. Ф. Мариевский, Ю. В. Нижник, Т. В. Стрикаленко // *Зб. матеріалів X Всеукр. науково-практичної конференції «Вода в харчовій промисловості»* – Одеса: ОНАХТ, 2019 – С. 69 – 71
27. Мариевский В. Ф. Методические и эколого-гигиенические аспекты анализа безопасности воды при использовании некоторых реагентов для ее обеззараживания/ В. Ф. Мариевский, А. И. Баранова, Ю. В. Нижник, Т. В. Стрикаленко, Т. Ю. Нижник, Т. В. Маглеванная // *Вода: Химия и экология* - 2011. №4. - С. 58-65.