

ENGINEERING SCIENCES

АПРОБАЦИЯ ТОС-ПОДХОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ВОДОСНАБЖЕНИИ

д. мед. н., проф. Стрикаленко Т. В.¹

к. т. н. Нижник Т. Ю.²

к. т. н. Нижник Ю. В.²

к. х. н. Баранова А. И.²

¹Украина, Одесса, Одесская национальная академия пищевых технологий;

²Украина, Киев, НТУ Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского»

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31072019/6584

ARTICLE INFO

Received: 13 May 2019

Accepted: 10 July 2019

Published: 31 July 2019

KEYWORDS

Goldratt's Theory of Constraints, water supply, polymer reagent, polyhexame- thylene guanidine hydrochloride/PHMG-hcl, plants of food.

ABSTRACT

In this article is made the risk analysis in system of water supply of the plants of food. Approbation of Goldratt's Theory of Constraints allowed to mark out basic risk and to analyse shortcomings of the existing ways of disinfection. The perspective directions of minimization of risks in system of water supply of the enterprises of the food industry by use of reagents on the basis of PHMG-hcl are proved. This can real optimize work of all system of water supply of the enterprise of the food industry.

Citation: Стрикаленко Т. В., Нижник Т. Ю., Нижник Ю. В., Баранова А. И. (2019) Aprobaciya Tos-Podhoda dlya Upravleniya Riskami v Vodosnabzhenii. *World Science*. 7(47), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal_ws/31072019/6584

Copyright: © 2019 Стрикаленко Т. В., Нижник Т. Ю., Нижник Ю. В., Баранова А. И. 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. Проблема управления рисками при производстве пищевой продукции чрезвычайно важна, ибо с углублением наших знаний количество рисков не только возрастает, но и требует понимания и устранения в рамках существующих особенностей производства [1]. В частности, это относится к рискам качества водообеспечения производства продуктов питания, а именно: использование эпидемически опасной воды, коррозия и биообрастание трубопроводов и технологического оборудования, которые приводят к повышению гидродинамического сопротивления (в том числе – изменению гидравлической работы водотранспортных сетей) и возрастанию энергетических затрат и т. д. [1, 2]. Принятие управленческих решений, направленных на устранение каждого из этих рисков, достаточно часто ведет к увеличению ожидаемого уровня затрат [1-3].

Оптимальной считается возможность одновременного устранения всех выявленных сегодня рисков (улучшения всех процессов), однако при этом нередко остаются вне внимания взаимовлияние и взаимозависимость рисков/процессов внутри системы. Важность и необходимость применения системного, то есть учитывающего причинно-следственные связи в системе, подхода к управлению рисками лежит в основе Теории ограничений сопротивления системы (ТОС), разработанной Э. Голдраттом [4]. Основной особенностью методологии ТОС являются поиск и управление ключевым ограничением системы, устранение которого

предопределяет успех и эффективность всей системы в целом. Никакие мероприятия по оптимизации существующих отдельных рисков/процессов не приведут к стойкому заметному улучшению, если усилия не будут направлены на устранение риска, являющегося ключевым ограничением системы. То есть, среди множества элементов/процессов (рисков) системы, которые должны быть оптимизированы, есть один (реже – несколько), устранение/минимизация которого реально способна улучшить работу всей системы [4, 5]. Поэтому так важно и необходимо установить ограничения системы (ключевой риск), найти пути его максимального устранения и проанализировать все другие составляющие системы с позиции соответствия принятому решению (то есть адекватности вычленения и устранения ключевого риска).

Целью аналитической работы был анализ рисков в системе водоснабжения и апробация ТОС-подхода к их минимизации на предприятии.

Результаты исследований. Среди рисков, имеющих место в системе водоснабжения на предприятиях пищевой промышленности и приведенных во Введении, приоритетное место занимает обеспечение эпидемической безопасности воды, используемой при изготовлении продукции. Безусловно, коррозия трубопроводов и технологического оборудования, биообрастание, которые приводят к сокращению внутреннего сечения труб, изменению гидравлической работы водопроводных сетей (и усугублению процессов коррозии) и росту энергетических затрат на предприятии – это важные риски, особенно учитывая непрерывную работу таких предприятий. Однако первоочередными являются требования обеспечения эпидемической безопасности и необходимого качества пищевой продукции. Тем более, что коррозия также инициирует изменения химического состава воды, составляющей для некоторых пищевых продуктов до 90 % их состава.

Используемые для обеззараживания воды безреагентные методы – УФ-облучение, кавитационная обработка и др. являются относительно эффективными с учетом их высокой энергоемкости и относительной результативности, особенно при обеззараживании системы водоснабжения предприятия. Использование горячего пара известно как высоко энергозатратный процесс, усиливающий коррозию внутренних поверхностей трубопровода и оборудования и практически непригодный для обработки транспортной тары [1, 6, 7].

Реагентные методы обработки воды и обеззараживания системы водоснабжения предприятия, технологического оборудования, традиционно используемые на предприятиях пищевой промышленности (например, хлорсодержащие и другие галогенсодержащие реагенты, диоксид хлора, озон и т. д.), имеют высокий окислительный потенциал, нестабильны, у них небольшой срок полураспада (особенно при повышенных температурах), к тому же они окисляют присутствующие в воде органические примеси с образованием высокотоксичных соединений [7 - 9]. Известно также, что у микроорганизмов, живущих в водопроводных трубах, вырабатывается резистентность не только к хлору, но и к ряду антибиотиков [10]. Практически все биоциды-окислители существенно ускоряют коррозию оборудования и трубопроводов [1, 6, 7, 9]. Это, в свою очередь, требует дополнительного применения различных ингибиторов коррозии (реагентов, замены материалов трубопроводов и т. д.) и повышает стоимость воды [6].

Таким образом, современные реагенты, используемые для обеззараживания воды и дезинфекции системы водоснабжения, технологического оборудования на предприятиях пищевой промышленности, выполняя в определенной степени свою основную задачу – обеззараживание воды, никак не изменяют другие риски процесса водообеспечения предприятия и даже, значительно чаще, усугубляют их. Апробация ТОС-подхода позволяет сформулировать следующие требования к способам/реагентам для дезинфекции воды: они должны быть не только активными биоцидами и соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям, но и проявлять достаточно высокую степень защиты металла и даже снижать скорость общей и локальной коррозии, проявлять свою активность при рабочих температурах и давлениях и не оказывать отрицательного влияния на химические и физические свойства воды, сохранять свою эффективность на протяжении установленного срока, легко растворяться в воде, не образовывать отложений на поверхности оборудования [7, 9, 11]. Устранение коррозионной активности, фактически, может привести к минимизации причин повышения гидродинамического сопротивления в трубопроводе и увеличения энергозатратности предприятия.

Анализ доступных источников информации и результатов многолетних собственных исследований позволяют считать, что названным требованиям практически полностью отвечают

отечественные реагенты, приготовленные на основе полимерных гуанидинсодержащих соединений неокислительного действия, наиболее изученным из которых является полигексаметиленгуанидина гидрохлорид (ПГМГ-гх) [12, 13]. В частности, реагент «Акватор» (действующее вещество – ПГМГ-гх, разработчик и производитель - НТЦ «Укрводбезопаска», г. Киев), достаточно широко используют при обработке воды, транспортной тары на предприятиях пищевой промышленности, каптажей водоисточников и системы водоснабжения [14, 15].

ПГМГ-гх обладает широким спектром пролонгированного биоцидного действия (бактерицидного, фунгицидного, альгицидного), флокулирующими свойствами, низкой токсичностью (по ГОСТ 12.1.007 относится к III классу умеренно опасных веществ при внутрижелудочном введении и к IV классу малоопасных веществ при накожном воздействии), не разлагается и не меняет свой состав в воде, а потому длительно сохраняется в рабочем водном растворе [9, 12 – 16]. Оригинальная технология получения (синтеза) ПГМГ-гх, запатентованная нами [17], 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).

Природа высокой биоцидной активности рабочих растворов ПГМГ-гх даже при очень низких концентрациях действующего вещества обусловлена несколькими факторами. Так, благодаря макромолекулярной природе и удачному сочетанию комплекса свойств (высокая молекулярная масса, большой положительный заряд макромолекул, поверхностная активность водных растворов), ПГМГ-гх обладает сильной адсорбционной способностью к поверхностям различной природы, на которых он очень быстро (в течение нескольких минут) адсорбируется (на 98-100%) с образованием полимерного адсорбционного слоя. Вследствие конформационных ограничений, накладываемых поверхностью, и статистических конформаций макромолекулярных клубков полимерная цепь ПГМГ-гх связывается с поверхностью за счет лишь 10-15% своих звеньев, а остальные звенья остаются свободными и способны к эффективному взаимодействию с микроорганизмами. Свободные звенья полимерной цепи находятся в приповерхностном слое в виде «петель» и «хвостов» и образуют рыхлый, значительной толщины адсорбционный слой, в котором локальная концентрация ПГМГ-гх существенно превышает концентрацию полимера в объеме раствора. Этот адсорбционный слой ПГМГ-гх придает поверхности большой положительный заряд и притягивает к себе («вылавливает») отрицательно заряженные клетки присутствующих в воде микроорганизмов, после чего макромолекулы полимера вступают во взаимодействие с мембранами клеток микроорганизмов, разрушая их. Адсорбционный слой ПГМГ-гх надежно удерживается на любой поверхности и устойчив к механическим воздействиям, что, в свою очередь, обуславливает его пролонгированное биоцидное действие (сам полимер, как отмечалось выше, стойкий во времени, не летучий и не разлагается) [18 - 21 и др.].

На металлических поверхностях прочные, не смываемые потоком воды, биоцидные адсорбционные слои защищают поверхность металла от биокоррозии и биообрастания. В жесткой воде, а также при $\text{pH} \leq 7$ ПГМГ-гх является также ингибитором электрохимической коррозии стали. Важно, что при замене обеззараживающих реагентов-окислителей на реагенты, содержащие ПГМГ-гх, можно защитить внутреннюю поверхность металлических трубопроводов без каких-либо дополнительных затрат.

Такой механизм антикоррозионной активности ПГМГ-гх и конкретные результаты проведенных исследований, представленные в обзоре, подготовленном при нашем участии [9], позволяют говорить о том, что применение биоцидных реагентов на основе ПГМГ-гх может достаточно успешно решать задачи антикоррозионной защиты трубопроводов, сформулированные нами выше при обосновании ТОС-подхода.

Анализ механизмов действия гуанидинсодержащих полимеров, в частности – ПГМГ-гх, и результаты ряда экспериментальных исследований по применению реагентов, действующим веществом которых является ПГМГ-гх [12, 18, 22 - 25], позволили сформулировать рабочую гипотезу о возможности их использования для снижения гидродинамического сопротивления в водопроводной сети. Для решения аналогичной проблемы трубопроводного транспорта, обеспечивающего перекачивание нефти и нефтепродуктов, достаточно давно применяют реагенты, позволяющие реализовать явление, открытое более полувека тому назад английским химиком Томсом (эффект Томса) [26, 27]. 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) [28] поддаются деструкции при сдвиговых усилиях в трубе и при хранении, в результате чего эффект Томса исчезает [29, 30]. Единой теории, объясняющей эффект Томса, до настоящего времени нет [31].

Некоторые результаты исследований, позволяющие экспериментально подтвердить проявления эффекта Томса, представлены в работах [23, 32, 33]. Так, при вискозиметрических исследованиях водных растворов ПГМГ-гх, полученного по разработанному способу [17], установлено, что эффект структурирования воды при больших скоростях потока препятствует образованию турбулентности в потоке, приводя к снижению гидродинамического сопротивления в потоке. Результаты натурных испытаний водных растворов ПГМГ-гх в потоке с высокой скоростью струи при использовании водного огнетушителя ВВШ-9 (производства ПрАТ «Макиевский завод «Факел») 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, то есть о наличии у полимера ПГМГ-гх гидродинамической активности (способности снижать гидродинамическое сопротивление воды – эффект Томса) [23, 33]. То есть, 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 [33].

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. Так, ПГМГ-гх является типичным полиэлектролитом [34], и его макромолекулы, как рассмотрено выше, обладают сильным положительным зарядом, который скомпенсирован в водном растворе подвижными противоионами 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.

Еще одним возможным фактором, способствующим проявлению гидродинамической активности ПГМГ-гх, может быть образование пристеночного адсорбционного слоя из макромолекул ПГМГ-гх. По мнению [35], образование из молекул полимерных противотурбулентных гидродинамически активных агентов пристеночного адсорбционного слоя приводит к снижению турбулентных всплесков в переходном слое и стабилизирует ламинарный подслоя. Кроме этого, в проявлении влияния пристеночного полимерного адсорбционного слоя на ламинаризацию турбулентного потока существенную роль оказывает структура воды, которая, как растворитель и компонент структуры полимера, способствует снижению гидродинамического сопротивления турбулентного потока [31]. Рыхлая упаковка в приповерхностном слое макромолекул ПГМГ-гх также способствует их сильной гидратации (ассоциации молекул воды с макромолекулами ПГМГ-гх), то есть структурированию молекул воды, что может быть фактором, гасящим турбулентные проявления в пристеночном слое, тогда как адсорбированные макромолекулы этого слоя могут играть решающую роль в снижении гидродинамического сопротивления.

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 пристеночного адсорбционного слоя. Макромолекулы этого слоя взаимодействуют с молекулами воды, способствуя их структурированию, что приводит к ламинаризации потока и снижению гидродинамического сопротивления. Высказанное предположение и выявленные факты 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 [32].

Анализ результатов собственных исследований и данных литературы, выполненный с позиции Теории ограничения сопротивления (ТОС-подхода), позволяют думать о перспективности использования на практике реагентов на основе ПГМГ-гх (в частности, реагента «Акватон») для очистки и обеззараживания питьевой воды (бесхлорная технология), в качестве эффективного антикоррозионного средства, а также агента, снижающего гидродинамическое сопротивление воды. То есть, для обеспечения эпидемической безопасности воды, решения проблем энергосбережения и повышения эффективности работы различных гидравлических систем на предприятии.

Выводы. Выполненный анализ рисков в системе водоснабжения предприятий пищевой отрасли позволил вычлени из них тот, который требует первоочередного внимания и устранения/минимизации с учетом важности обеспечения эпидемической безопасности и необходимого качества пищевой продукции. Апробация ТОС-подхода и системный анализ не только рисков в водоснабжении предприятий, но и перспективных направлений/путей их минимизации/устранения на предприятии выполнены с учетом анализа результатов собственных исследований и данных информационных источников. Установленные особенности механизмов действия водных растворов ПГМГ-гх позволяют считать, что применение отечественного полимерного реагента комплексного неокислительного действия «Акватон» (ПГМГ-гх) для обеззараживания воды сочетается с его антикоррозионным действием и может инициировать снижение гидродинамического сопротивления воды (эффект Томса). Таким образом, это может существенно минимизировать риски в водообеспечении технологических процессов и реально оптимизировать работу всей системы водоснабжения предприятия пищевой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. - М.: ДеЛи плюс. 2013. - 680 с.
2. Панов В. В. Международные подходы к безопасности питьевого водоснабжения / В. В. Панов, А. А. Панасенко, В. Я. Кобылянский - ЕТЕВК-2019. Міжнар. конгрес&техн. виставка. Зб. доп. 10-14.06.2019, м. Чорноморськ. – Київ: ТОВ «ПРАЙМ-ПРИНТ», 2019. – С.18-21.
3. Тулуб О. М. Управління ризиками компанії на основі міжнародних стандартів ризик-менеджменту / World Science. – 2018 - № 3 (31), vol. 4, March 2018. – Р. 16 – 20.
4. Коуэн О., Федурко Е. Основы теории ограничений /ТОС Strategic Solutions, 2012. – 332 с.
5. Детмер У. Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / Уильям Детмер; Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 444 с
6. Антикоррозионная защита-2019: Сб докл. X межотр. конф. –М.: «Спектр», 2019. – 68 с.
7. 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.
8. Guidelines for drinking-water quality / The 4th ed. — Geneva, Switzerland: WHO, 2011- 541 p.
9. 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.
10. Peng Shia. Metagenomic insights into chlorination effects on microbial antibiotic resistance in drinking water / Shia Peng, Jiaa Shuyu, Zhang Xu-Xiang // Water Research - 2013. V.47. I.1. - P. 111-1202.
11. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. М.: Химия. 1977. 352 с.
12. Реагенты комплексного действия на основе гуанидиновых полимеров. // Выпуски 1-5. – К.: Укрводбезпека, 2003, 2004, 2005, 2010, 2018 гг.
13. Вода в харчовій промисловості: Мат-ли I-X Всеукр. науково-практ. конф. – Одеса: ОНАХТ, 2010 – 2019 pp.
14. ТУ У 24.1-25274537-005-2003 зі змінами № 1 та № 2 «Реагент комплексної дії «Акватон-10» (Висновок Державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України від 02/07/2013 р № 05.03.02-04/58289).
15. 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.

16. 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.
17. Нижник Ю. В. Способ получения полигуанидинов / Нижник Ю. В., Баранова А. И., Мариевский В. Ф., Федорова Л. Н., Надтока О. Н., Нижник Т. Ю. - Патент Украины №79720 – 2007. Б.И. № 10.
18. Нижник Т.Ю. Роль адсорбционных явлений в борьбе с биообрастаниями в системах водоснабжения / Т.Ю. Нижник, А.И. Баранова, В.В. Нижник // 3б. матер. Ш науково-практ. конф. «Вода в харчовій промисловості». Одеса: ОНАХТ. 2012. - С. 74-76.
19. Нестеров А.Е. Фазовое состояние растворов и смесей полимеров / А.Е. Нестеров, Ю.С. Липатов. Киев.: Наукова думка. 1987. 167 с.
20. Шалигін О.В. До обґрунтування можливості використання полімерів гуанідинової природи як перспективних засобів боротьби з корозією трубопроводів водопровідних мереж / О.В. Шалигін, В.М. Тіщенко, Н.В. Скубій, Т.Ю. Нижник, А.В.Соловйова // Водопостачання і водовідведення. 2012. №1. С. 8-11.
21. Скубий Н. В. Способ защиты металлов от коррозии / Н. В. Скубий, Т. В. Стрикаленко, О.В. Шалыгин, О. В. Ляпина. Патент Украины №89520. ОНАПТ. 2014. Б.И.№8.
22. Магльована Т. В. Екологічні аспекти використання гуанідинових полімерів в умовах надзвичайних ситуацій: [Монографія] / Т. В. Магльована, Т. Ю. Нижник, С. В. Жартовський — Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ. 2016. - 208 с.
23. 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.
24. Нижник Т. Ю. Фізико-хімічні властивості полігексаметиленгуанідину. Частина 1. Конденсований стан. / Т. Ю. Нижник, О. О. Сап'яненко, І. М. Астрелін, Н. М. Толстопалова // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" – 2006. – № 5. – С.105-110.
25. Нижник Т. Ю. Використання знезаражуючих реагентів на основі полігексаметиленгуанідину гідрохлориду для підготовки води на підприємствах України і за кордоном / Т. Ю. Нижник, Ю. В. Нижник, Т. В. Стрикаленко, В. Ф. Марієвський – «Водопостачання і водовідведення» – 2018, № 6. – С. 11 – 15.
26. 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.
27. 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.
28. Николаев А. Ф. Водорастворимые полимеры / А. Ф. Николаев, Г. И. Охрименко - Л.: Химия, 1979. - 61с.
29. Седов Л. И. О снижении гидродинамического сопротивления добавками полимеров / Л.И. Седов и др.// Механика турбулентных потоков: сб. –М.: Наука, 1980. – С. 7–28
30. Ткачук Ю. Я. Энергосбережение за счет использования эффекта Томса // Мат-ли науково-техн. конф. викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету. - Суми: СумДУ, 2007 - Ч.2 - С.93.
31. 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.
32. Нижник Т. Ю. О гидродинамической активности обеззараживающего реагента на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида / Т. Ю. Нижник, А. И. Баранова, Т.В. Маглеванная, С. В. Жартовский, Т. В. Стрикаленко - Водопостачання і водовідведення. – 2019, № 3. – С. 53-57.
33. Нижник Т. Ю. О перспективности применения ПГМГ-ГХ как гидродинамически активного реагента / Т. Ю. Нижник, А. И. Баранова, Т.В. Маглеванная, С. В. Жартовский, Т. В. Стрикаленко - 3б. матер. Х науково-практ. конф. «Вода в харчовій промисловості». Одеса: ОНАХТ. 2019. - С. 10-13.
34. Воинцева И. И. Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы [Монография] / И. И. Воинцева, П. А. Гембицкий. // М.: ЛКМ-пресс. 2009. - 303с.
35. 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.