

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 615.47:681.2
DOI: 10.25206/1813-8225-2019-168-75-79

А. А. НОВИКОВ
А. Р. ПУТИНЦЕВА
Д. А. СЕДЫХ
В. Ю. ПУТИНЦЕВ
Д. Д. СИДОРЕНКО

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОЙ ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ САНАЦИИ НЕФРОСТОМИЧЕСКИХ КАТЕТЕРОВ

В данной статье проведена оценка эффективности применения инвазивного акустического воздействия при дренировании наружного урологического катетера (нефростомы). Дано описание разработанного исследовательского стенда, приведены полученные результаты растровой электронной микроскопии на приборе «JCM-5700», определен процент удаленной обструкции по результатам взвешивания образцов до и после ультразвукового воздействия. Показано, что непродолжительное УЗ воздействие на жидкую среду в инкрустированном катетере позволяет удалить до 60 % загрязнений.

Ключевые слова: ультразвуковой волновод-инструмент, урологический катетер (нефростома), ультразвуковая санация, эрозионная возможность ультразвукового воздействия, пьезокерамический излучатель, амплитудно-модулированный сигнал.

Введение. Использование катетеров для обеспечения дренажа полых органов давно завоевало широкое применение в самых разнообразных отраслях медицины, в том числе в урологии. Задача обеспечения пассажа мочи по верхним мочевыводящим путям эффективно решается установкой стента (внутреннее дренирование) или же нефростомы (наружное дренирование). Поводом для

установки мочеточникового стента являются реконструктивно-пластические операции на мочеточнике и лоханочно-мочеточниковом сегменте, эндоскопические вмешательства при лечении мочекаменной болезни [1].

Наружное дренирование путей давно и с успехом используется в урологии [2]. Однако данное хирургическое вмешательство (нефростомиа) име-

ет серьезный недостаток — необходимость постоянной смены из-за отложения солей на внутренней и внешней поверхностях и образование биопленок между поверхностью катетера и слизистой мочеочника. В связи с этим пациент вынужден постоянно подвергаться хирургическому вмешательству.

Решением данной проблемы может стать ультразвуковая инвазивная санация нефростом. Эффективность неинвазивного акустического воздействия в проекции внутреннего стента рассматривалась ранее [3]. Поэтому целью нашего исследования является оценка эффективности применения инвазивного акустического воздействия при дренировании наружного урологического катетера (нефростомы).

Процесс протекания жидкости в инкрустированном катетере происходит между двумя неоднородными средами в системе жидкость (моча) — твердое тело (солевая обструкция) [4, 5]. Для санации катетера необходимо разрушить солевой слой кавитационными потоками, поэтому процесс ультразвуковой чистки в данном случае рассматривается как сверхтонкое диспергирование (измельчение) солевой обструкции.

Ультразвуковая кавитация является основным инициатором необходимых физико-химических процессов, возникающих в жидкости под действием ультразвука (УЗ). Она реализуется за счет трансформации низкой плотности энергии ультразвуковых колебаний в высокую плотность энергии вблизи и внутри газового пузырька. Захлопывающиеся пузырьки образуют ударные волны, таким образом, в жидкости возникают такие физико-химические явления, как акустическая кавитация, интенсивное перемешивание, переменное движение частиц [6–8].

Экспериментальное оборудование и методы исследования. Для оценки эффективности предложенного метода инвазивной санации был разработан исследовательский стенд из прибора на базе «Ярус-У» и пьезокерамического излучателя с волноводом инструментом, рабочая часть которого составляет 103 мм, а диаметр 1,8 мм.

На рис. 1 приведена функциональная схема прибора для санации урологических катетеров на базе «Ярус-У», которое состоит из силового выпрямителя 1, дополнительного диода 2, LC-фильтра 3-4 на выходе выпрямителя 1, сдвоенного переключателя 5-8, первая половина которого 5 через контакт 5-1 связывает катод диода 2 и положительную шину питания инвертора 6, а через контакт 5-2 выход LC-фильтра 3-4 с инвертором 6. Выходной трансформатор 7 инвертора 6 содержит дополнительную обмотку 7(1-2), которая включена последовательно с основной и через вторую половину сдвоенного переключателя 8, через контакт 8-1 подсоединяется к входу пьезокерамического излучателя 9.

Основными особенностями применения устройства в данном медико-технологическом процессе являются:

- инвазивное воздействие в протяженной трубке, что определяет задачу обеспечения эффективности воздействия в глубине катетера;
- необходимость снижения теплового эффекта воздействия.

Для обеспечения компромисса между противоречивыми требованиями вышеперечисленных условий, для питания ультразвукового излучателя использовался амплитудно-модулированный сигнал, приближенный к импульсному режиму рабо-

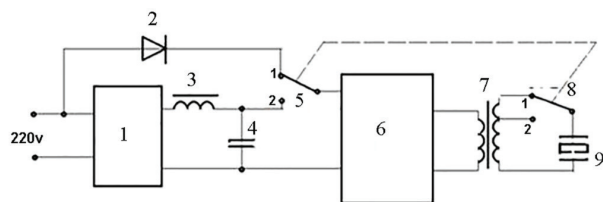


Рис. 1. Функциональная схема устройства на базе «Ярус-У»

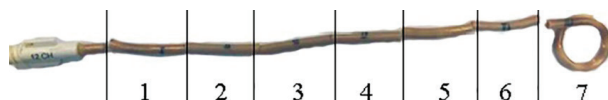


Рис. 2. Экспериментальный материал

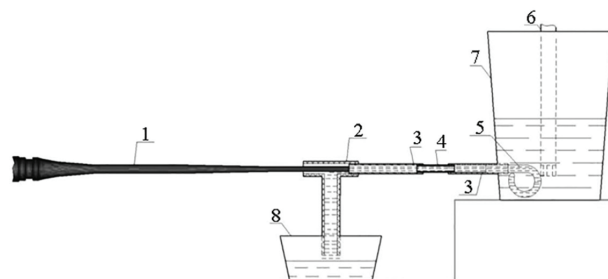


Рис. 3. Схема эксперимента:

- 1 — УЗ инструмент, 2 — тройник, 3 — переходник,
- 4 — участок нефростомы (сегменты 1-6),
- 5 — питтеил нефростомы (сегмент 7),
- 6 — микрофон прибора для измерения шума «Ассистент»,
- 7 — резервуар подачи жидкости,
- 8 — резервуар слива жидкости

ты. Чтобы упростить реализацию устройства, была принята частота модуляции, кратная частоте сетевого питающего напряжения в 50 Гц. Такой режим работы обеспечивает возможность, с одной стороны, повысить пиковую амплитуду ультразвуковых колебаний почти в полтора раза, а с другой — обеспечить снижение теплового поверхностного эффекта при работе излучателя на кожный покров. Особенность такого типа сигнала в том, что за счет комплексного эффекта двухчастотного воздействия, с одной стороны, обеспечивается глубокое проникновение его даже в неоднородную гетерогенную среду с незначительными отражениями и затуханием на границах сред, а с другой — высокочастотная составляющая препятствует или, по крайней мере, существенно затрудняет образование биопленок на поверхностях стента, что значительно повышает их резистентность к инкрустации солей [9].

Загрязнение трубки биопленками и соевыми наложениями можно охарактеризовать как кавитационно нестойкое, слабо связанное с очищаемой поверхностью (внутренней стенкой катетера), поэтому выбраны параметры УЗ воздействия: A_m — 10 мкм, f — 20 кГц, мощность — 30 Вт, экспозиция — 60 с.

В качестве моющей среды была использована вода 20 °С, поскольку в данном случае ультразвуковая чистка возможна только в пассивных средах, без использования химически активных веществ.

Экспериментальное исследование эрозионной возможности при ультразвуковой санации катетера

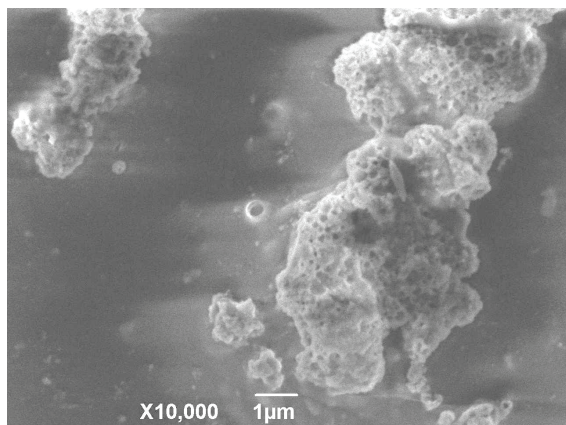


Рис. 4. Сегмент нефростомы, после озвучивания с экспозицией 60 секунд. УЗ воздействие осуществляется в непосредственной близости от инкрустированного участка

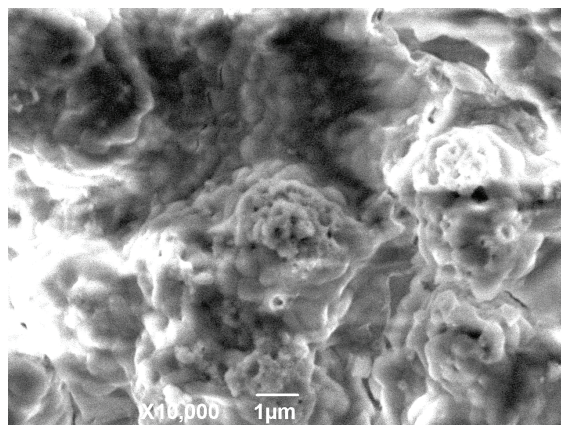


Рис. 6. Сегмент нефростомы, после озвучивания с экспозицией 60 секунд. УЗ воздействие осуществляется на расстоянии 60 мм от инкрустированного участка

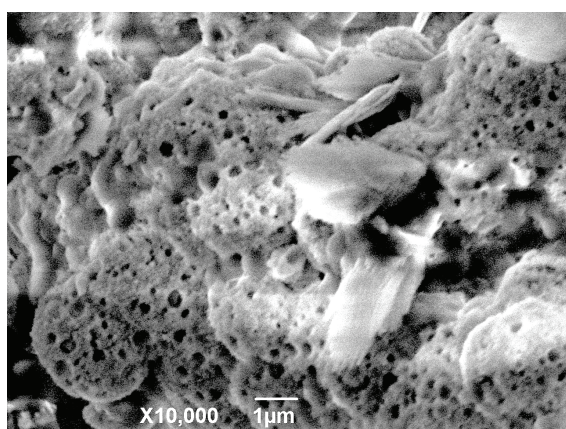


Рис. 5. Сегмент нефростомы, после озвучивания с экспозицией 60 секунд. УЗ воздействие осуществляется на расстоянии 30 мм от инкрустированного участка

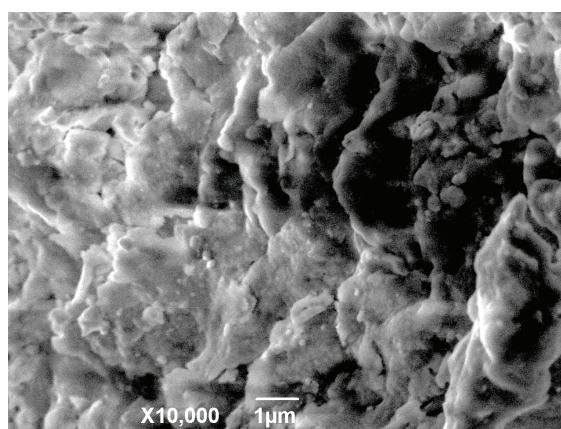


Рис. 7. Сегмент нефростомы, после озвучивания с экспозицией 60 секунд. УЗ воздействие осуществляется на расстоянии 120 мм от инкрустированного участка

проводилось на загрязненном (инкрустированном) урологическом стенте типа «свиной хвост» 12СН длиной 28 см, который был разделен на 6 равных сегментов и 7-й пигтейл нефростомы (рис. 2).

Как показано на рис. 3, на позицию 4 были установлены поочередно сегменты стента с 1-го по 6-й (рис. 1) в соответствии с их положением в нефростоме, с помощью регулирования длины двух переходников 3. После каждой установки участка нефростомы осуществлялось инвазивное ультразвуковое воздействие на жидкую среду в системе, причем для обеспечения акустического контакта инструмента с жидкостью в сегменте обеспечивалось протекание жидкости из верхнего сосуда в нижний через систему трубок.

Результаты и обсуждение. По результатам эксперимента была проанализирована эрозивная возможность ультразвукового воздействия. Озвучивание осуществлялось на разных расстояниях от излучателя в соответствии с положением внутри нефростомы с одинаковой экспозицией. Известно, что кавитационные пузырьки, порождаемые УЗ колебаниями, при разрушении выделяют достаточно высокую энергию, способную осуществлять эрозию [10–12]. В данном эксперименте кавитационные пузырьки при контакте с биопленкой образо-

вали в ней пробоины, или произвели воронки, как видно на рис. 4, 5.

На основании визуального анализа исследований, проведенных на растровом электронном микроскопе «JSM-5700» с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром «JED-2300» была определена неоднородность распределения воронок. Участки, где осуществлялось озвучивание инструментом, находящимся внутри сегментов нефростомы (сегменты 1–3) можно наблюдать очистку значительной части обструкции на протяжении рабочей части волновода, причём очевидно снижение качества чистки и количества пробоин (рис. 5–7) по мере удаления сегмента от поверхности излучателя.

Процент удаленной обструкции на каждом участке, который рассчитывался исходя из результатов взвешивания сегментов до и после инвазивного ультразвукового воздействия, представлен в табл. 1.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что очищение происходит по всей протяженности нефростомы, однако наиболее эффективная очистка наблюдается на 6-ом и 7-ом участках.

Выводы.

1. Наибольшая степень очистки достигается в отрезках № 6, 7 (график № 1) на расстоянии ультра-

Результаты экспериментальной чистки сегментов

№ участка	Расстояние от поверхности излучателя	% очистки
1	Непосредственная близость	2,326
2	Непосредственная близость	14,634
3	Непосредственная близость	5,911
4	30 мм	15,299
5	60 мм	1,166
6	90 мм	60,039
7	120 мм	48,128

тразвукового инструмента от участка на 60 и 90 мм. Это может объясняться разной интенсивностью звука, образованием воздушного пространства в катетере

2. Непродолжительное УЗ воздействие (60 с) на жидкую среду в инкрустированном катетере позволяет удалять загрязнения, что говорит об эффективности данного способа, однако по длине трубки формируется волновая неоднородность эрозионной активности ультразвуковых колебаний, что необходимо учитывать при использовании ультразвуковой чистки внутренних поверхностей протяженных катетеров.

3. Устройство для инвазивной санации урологических катетеров на базе «Ярус-У» является дешевым, эффективным и безопасным средством уменьшения солевой обструкции и может быть рекомендовано к применению в составе комплекса лечебных мероприятий, направленных на профилактику обструктивного пиелонефрита.

Библиографический список

- Novikov A. A., Tsukanov A. Yu., Akhmetov D. S., Mustafaev R. F., Mulyukova A. R. Noninvasive ultrasonic sanitation of stents for drainage of the upper urinary tract // *Biomedical Engineering*. 2018. Vol. 52 (3). P. 173–176. DOI: 10.1007/s10527-018-9807-y.
- Awad S. B. Ultrasonic cavitations and precision cleaning // *Precision Cleaning Magazine*. 1996. P. 1–6.
- Vanderbrink B. A., Rastinehad A. R., Ost M. C. [et al.]. Encrusted urinary stents: evaluation and endourologic management // *Journal of Endourology*. 2008. Vol. 22 (5). P. 905–912. DOI: 10.1089/end.2006.0382.
- Квашнин С. Е. Научные основы проектирования ультразвуковых колебательных систем терапевтических и хирургических аппаратов: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2000. 356 с.
- Маратов А. Г., Ергаков Д. В., Новиков А. Б. Современные возможности улучшения качества жизни пациентов с внутренними стентами // *Урология*. 2018. № 2. С. 134–140. DOI: 10.18565/urology.2018.2.134-140.
- Скворцов С. П., Нажем А. Исследование влияния параметров среды на интенсивность ультразвуковой кавитации // *Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: сб. тр. XIII Междунар. науч. конф. с науч. молодежн. шк. им. И. Н. Спирidonova*. В 2-х кн. 2018. Кн. 2. С. 204–208. ISBN 978-5-905527-27-2.
- Смородов Е. А., Галиахметов Р. Н., Ильгамов М. А. Физика и химия ультразвука. М.: Наука, 2008. 226 с. ISBN 978-5-020-366268.

8. Хмельёв В. Н., Леонов Г. В., Барсуков С. Н., Цыганок С. Н., Шалунов А. В. Ультразвуковые многофункциональные и специальные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве: моногр. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. 400 с. ISBN 978-5-9257-0104-1.

9. Пат. 2693002 Российская Федерация, МПК А 61 L 2/00. Устройство неинвазивной санации мочеочниковых стентов / Новиков А. А., Цуканов А. Ю., Путинцева А. Р., Ахметов Д. С. № 2003108554/09; заявл. 28.05.18; опубл. 28.06.19.

10. Бахтин Б. И., Ивашов А. И., Кузнецов А. В., Скороходов А. С. Формирование зон с максимальной интенсивностью ультразвуковой кавитации в однокомпонентных и многокомпонентных средах // *Инженерно-физический журнал*. 2016. Т. 89, № 3. С. 662–669.

11. Хмельёв В. Н., Хмельёв С. С., Гольх Р. Н. [и др.]. Экспериментальное определение условий ультразвукового воздействия для обеспечения максимальной интенсивности кавитации в среде // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2015. № 4 (12). С. 50–55.

12. Liatsikos E. N., Karnabatidis D., Katsanos K. [et al.]. Ureteral metal stents: 10-year experience with malignant ureteral obstruction treatment // *Journal of Urology*. 2009. Vol. 182 (6). P. 2613–2617. DOI: 10.1016/j.juro.2009.08.040.

НОВИКОВ Алексей Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

SPIN-код: 9669-2202

AuthorID (РИНЦ): 684463

ResearcherID: P-6308-2016

Адрес для переписки: yarus952@mail.ru

ПУТИНЦЕВА Александра Рустамовна, инженер кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

SPIN-код: 4041-6295

AuthorID (РИНЦ): 927818

AuthorID (SCOPUS): 57203907870

Адрес для переписки: asya.mulyukova@mail.ru

СЕДЫХ Дарья Александровна, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

SPIN-код: 6709-8398

AuthorID (РИНЦ): 762301

Адрес для переписки: lebedevada@mail.ru

ПУТИНЦЕВ Виталий Юрьевич, ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

SPIN-код: 7304-5954

AuthorID (РИНЦ): 8272

AuthorID (SCOPUS): 57203584921

Адрес для переписки: putintsev_vit@mail.ru

СИДОРЕНКО Дарья Дмитриевна, инженер кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Адрес для переписки: dashked8@mail.ru

Для цитирования

Новиков А. А., Путинцева А. Р., Седых Д. А., Путинцев В. Ю., Сидоренко Д. Д. Экспериментальное исследование эрозивной возможности ультразвукового воздействия при санации нефростомических катетеров // Омский научный вестник. 2019. № 6 (168). С. 75–79. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-168-75-79.

Статья поступила в редакцию 11.11.2019 г.

© А. А. Новиков, А. Р. Путинцева, Д. А. Седых,
В. Ю. Путинцев, Д. Д. Сидоренко