

Применение и проблемы моделирования ультразвуковых волноводных систем в медицине

Гавриленко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация:

Доклад посвящен вопросам применения и направлениям моделирования ультразвуковых волноводных систем в медицине.

Текст доклада:

Многие современные способы обработки материалов и веществ, а также медицинские технологии основаны на использовании различных видов колебаний и волн, таких как лазерное излучение, ультразвуковые колебания и т. д. В докладе анализируется нынешнее состояние ультразвуковых гибких волноводных систем (ГВС) и наиболее перспективные возможности их применения в медицине [1].

В современной медицине ГВС нашли самое широкое применение. В нейрохирургии ГВС используются для вентрикулостомии, трансфеноидального доступа к основанию черепа и очистки вентрикулярных катетеров. ГВС из оптоволоконных материалов могут использоваться для лечения пролапса межпозвоночных дисков. В работе [2] описано применение гибких оптических волокон для комбинированной лазерно-ультразвуковой хирургии. Ультразвук применяется в неинвазивной хирургии для создания локальных разрушений в глубинных тканях организма, например, в головном мозге. Также ультразвук применяется для дробления камней в почках, желчном пузыре, поджелудочной и слюнной железах. В работе [3] показана возможность применения ультразвука для интраоперативного гемостаза артерий. Исследована также возможность применения ультразвука для подготовки органов к резекции. В работе [4] описано применение высокочастотного фокусированного ультразвука большой интенсивности для лечения пресбиопии. В урологии ГВС применяется для ультразвуковой контактной литотрипсии. Также возможно применение гибких волноводов в качестве инструмента для трансуретральной литотрипсии [5].

Специфическим типом ультразвуковых хирургических инструментов являются ГВС, применяемые для ультразвукового тромболиза - разрушения тромбов в крупных кровеносных сосудах и расчистки этих сосудов. ГВС для ультразвукового тромболиза состоит из источника ультразвуковых колебаний, концентратора и волновода. Волновод в свою очередь представляет гибкую длинную (до 1 м) ступенчатую проволоку с капле-

видной дистальной частью. Инновационным развитием данной системы является использование полых гибких волноводов, что позволяет добиться дополнительного эффекта в обработке тканей подаваемым лекарственным средством через канал волновода. Сочетание ультразвуковых колебаний и подачи жидкости, в частности, существенно увеличивает глубину проникновения лекарств в ткани. В последних разработках используется схема подачи жидкости не только в осевом направлении, но и через тонкие отверстия в головке волновода, расположенные перпендикулярно оси волновода. Длинные гибкие ступенчатые волноводы выполняются из прутков нержавеющей стали плазменно-электролитическим травлением. Инновационные трубчатые ступенчатые волноводы изготавливаются методами пластической деформации. Волновод прикрепляется пайкой серебряным припоем к резьбовому соединительному элементу, служащему для соединения волновода с концентратором ультразвукового преобразователя.

Моделирование и расчет ультразвуковых процессов, проходящих в ГВС представляет собой сложную инженерную задачу, так как колебания в этих системах являются продольно-изгибными и должны рассматриваться как смешанные колебания сложной формы. Изгибные колебания концентратора с плавным изменением поперечного сечения по длине вычисляются путём деления его на элементарные стержни постоянного поперечного сечения с малой длиной с последующим применением метода передаточной матрицы. Такой метод расчета требует значительного машинного времени за счёт умножения огромного количества матриц.

Попытка математического моделирования гибких волноводов была предпринята в работе [6], где рассматривались изгибные колебания волновода с постоянной площадью поперечного сечения по длине. Однако результаты этой работы известны из классической теории колебаний стержня и не могут быть обобщены на случай волноводов с более сложным законом изменения площади поперечного сечения и осевого момента инерции по длине.

Проблема моделирования гибких волноводов также рассматривается в статье [7], где исследуется конечно элементная модель погруженного в жидкость волновода. Несмотря на это, данная статья основана на некоторых предположениях, снижающих её практическую ценность.

В рамках выполнения гранта Министерства образования на тему «Конструирование и расчет полых гибких волноводных систем для ультразвуковой внутрисосудистой минимально-инвазивной хирургии» был смоделирован трубчатый ступенчатый волновод, входящий в состав «Системы акустической для эндоваскулярной абляции» ТУ ВУ 100232486.049-2017. Расчет геометрии переходов ступеней трубчатого волновода выполняется

с целью уменьшения акустических потерь и получения заданного коэффициента усиления, а также, акустических характеристик ГВС. Рассматривается задача обеспечения прочности и недопущения пластической деформации волноводов в процессе работы.

Анализ литературных данных и результатов практического использования показывает перспективность применения ГВС в медицине, в частности, для тромболитического кровеносных сосудов или в системах эндоваскулярной абляции. Однако, для динамичного роста этого направления в медицине должны быть развиты методики расчета ГВС и на этой базе проведены дополнительные исследования в области конструирования систем.

Литература

1. Ультразвук в медицине: монография / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, Д.А. Степаненко. – Минск: БНТУ, 2009. – 428 с.
2. Gudra T., Muc S. Some problems of ultrasonic and laser cutting of biological structures // *The European Physical Journal. Special Topics*. Vol. 154. 2008. Pp. 85-88.
3. Zderic V., Keshavarzi A., Noble M.L., Paun M., Sharar S.R., Crum L.A., Martin R.W., Vaezy S. Hemorrhage control in arteries using high-intensity focused ultrasound: a survival study // *Ultrasonic*. Vol. 44. 2006. Pp. 46-53.
4. United States patent US 6679866, IPC A61F 9/07, 9/13, A61N 7/00, 7/02. Method and apparatus for the correction of presbyopia using high intensity focused ultrasound / G. Horn, G. Zdenek. – Application No. 870368; filed 29.05.2001; published 20.01.2004; priority 29.05.2001.
5. United States patent US 4899733, IPC A61B 1/30. Device and technique for transurethral ultrasonic lithotripsy using a flexible ureteroscope / E.A. DeCastro, R. Goodfriend. – Application No. 286561; filed 19.12.1988; published 13.02.1990; priority 19.12.1988.
6. Bansevėcius R., Bubulis A., Jūrėnas V., Vyšniauskienė Ž. Investigation of ultrasonic probe for medical purposes // *Ultragarsas*. Nr. 2 (55). 2005. Pp. 44-46.
7. Gavin G.P., McGuinness G.B., Dolan F., Hashmi M.S.J. Performance characteristics of a therapeutic ultrasound wire waveguide apparatus // *International Journal of Mechanical Sciences*. Vol. 49. 2007. Pp. 298-305.