

УДК 621.373.826:616.62-003.7

## Формирование многофакторного критерия оценки эффективности использования лазерных технологий в урологии

<sup>1</sup> Чернега В. С., <sup>2</sup> Арбузов И. А.

<sup>1</sup> Севастопольский государственный университет  
ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация  
vs\_chernega@mail.ru

<sup>2</sup> Городская больница № 9  
ул. Мира, 5, Севастополь, 299018, Российская Федерация  
arbizov-007@mail.ru

Получено: 9 мая 2023 г.

Отрецензировано: 15 мая 2023 г.

Принято к публикации: 19 мая 2023 г.

**Аннотация:** Проведен выбор факторов, влияющих на эффективность и безопасность выполнения операции дробления мочевых камней с помощью гольмиевого и тулиевого волоконного лазеров, обоснована и выполнена их нормализация. Сформирован и проанализирован многофакторный интегральный критерий эффективности лечения мочекаменной болезни методом лазерной литотрипсии. Приведены рекомендации по использованию лазеров для дробления мочевых камней.

**Ключевые слова:** твердотельные и волоконные лазеры, контактная лазерная литотрипсия, многофакторный критерий эффективности лечения.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Чернега В. С., Арбузов И. А. Формирование многофакторного критерия оценки эффективности использования лазерных технологий в урологии // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 1. С. 70—80.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018):** Чернега, В. С. Формирование многофакторного критерия оценки эффективности использования лазерных технологий в урологии / В. С. Чернега, И. А. Арбузов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2023. — Т. 6, № 1. — С. 70—80.

### 1. Введение

Одним из самых распространенных урологических заболеваний является мочекаменная болезнь (МКБ), при которой образуются мочевые

камни (конкременты), представляющие собой неорганические соединения кальция, магния, натрия. В современной урологии наиболее эффективным методом лечения МКБ является дробление мочевых конкрементов специальными устройствами — литотриптерами, которые построены на основе квантовых генераторов различного типа. В настоящее время наиболее широко применяется литотриптеры, созданные на основе гольмиевого и тулиевого лазеров [1—4].

В качестве рабочего тела в гольмиевых лазерах используется алюмоиттриевый гранат, легированный ионами редкоземельного элемента гольмия *Ho:YAG* (*Holmium:yttrium-aluminum-garnet*). Источником накачки служит ксеноновая или криптоновая импульсная лампа, излучающая белый свет в широком спектральном диапазоне. Типовыми параметрами гольмиевого лазера являются: длина волны оптических колебаний 2100 нм; максимальная мощность излучения 30 Вт; энергия импульсов может регулироваться от 0,2 до 6 Дж; частота импульсов может устанавливаться от 3 до 25 Гц, а длительность импульсов — от 150 до 850 мкс.

В тулиевых волоконных лазерах *TFL* (*Thulium Fiber Laser*) рабочим телом является кварцевое оптическое волокно, легированное ионами тулия (*Tu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*). Сердцевина волокна имеет диаметр 10—20 мкм, а его длина варьируется в пределах от 10 до 30 м. В качестве источника оптической накачки используется один или несколько мощных лазерных диодов. Длина волны излучаемого колебания в волоконных тулиевых лазерах равна 1940 нм. Выполнение литотрипсии при длине волны 1940 нм существенно повышает качество проведения операции. Это связано с тем, что поглощение энергии инфракрасных колебаний при такой длине волны в 4,5 раза выше, чем у гольмиевого *Ho:YAG* лазера с длиной волны 2100 нм и в 2,3 выше, чем у твердотельного лазера с рабочим телом на основе *Tm:YAG*. Влияние конструктивных параметров гольмиевых и тулиевых лазеров на клинические характеристики лечения МКБ подробно освещены в [2, 3].

Эффективность лечения МКБ в настоящее время оценивается в основном коэффициентом полного освобождения пациента от камней *Esfr* [4, 5], определяемого как количество операций *Nsfr*, при которых осуществляется полное удаление камней и их фрагментов, по отношению к общему количеству литотрипсий *Nsum*:

$$Esfr = (Nsfr / Nsum) \cdot 100 \% . \quad (1)$$

В зарубежной литературе этот критерий носит название «*Stone Free Rate*», сокращенно *SFR*.

Однако коэффициент  $E_{sfr}$  оценивает эффективность не всего процесса лечения МКБ, а лишь одной из его, хотя и весьма важной, составляющих — эффективность собственно процедуры дробления камня.

Целью настоящей работы является выявление и оценка других факторов и формирование многофакторного критерия эффективности, которые бы отражали не только эффективность выполненной операции, но и качество жизни прооперированного, а также финансовые затраты лечебного учреждения.

## 2. Выявление и нормализация факторов интегрального критерия эффективности

В работе [6] была впервые предпринята попытка оценить эффективность лечения МКБ с помощью многофакторного интегрального критерия. Однако в этой статье преимущественно рассматривались медицинские аспекты эффективности лечения МКБ без строгого обоснования нормализации факторов и оценки весовых коэффициентов.

К интегральному показателю эффективности лечения МКБ предъявляются следующие требования:

- 1) учет всех существенных факторов, оказывающих влияние на протекание процесса лечения;
- 2) однозначность оценки при различных способах литотрипсии;
- 3) управляемость;
- 4) возможность широкого применения при различных способах литотрипсии;
- 5) простота в математическом смысле, позволяющая использовать его во врачебной практике.

Интегральный критерий эффективности  $F_{umm}$  целесообразно представить в виде взвешенной суммы частных критериев (факторов)  $\Phi_i$  с учетом важности частных критериев  $F_i$  [7]:

$$F_{umm} = \sum_{i=1}^K w_i \Phi_i = \sum_{i=1}^K F_i, \quad (1)$$

где  $K$  — количество учитываемых факторов;  $w_i$  — весовые коэффициенты, учитывающие важность (весомость) вклада  $i$ -го критерия в суммарный показатель;  $F_i$  — взвешенный  $i$ -й частный критерий. Более важному критерию приписывается больший вес, а общая важность всех критериев принимается равной 1, т. е.:

$$\sum_{i=1}^K w_i = 1.$$

При этом произведения  $F_i = w_i \Phi_i$  в выражении (1) следует упорядочивать по мере убывания весов, т. е. более важным весам предписывается меньший индекс. Эффективность лечения МКБ считается тем выше, чем больше значение взвешенной суммы частных критериев  $F_i$ .

Для определения факторов, влияющих на суммарную эффективность лечения МКБ, был проведен опрос экспертов, который осуществлялся методом анкетирования [6]. По результатам опроса экспертов выделены следующие факторы, оказывающие влияние на общий интегральный показатель лечения МКБ:

Фактор  $\Phi_1$  — относительная доля больных с полным удалением конкрементов — «*Stone Free Rate*» (*SFR*);

Фактор  $\Phi_2$  — средняя длительность операции;

Фактор  $\Phi_3$  — наличие интра- и/или постоперационных осложнений;

Фактор  $\Phi_4$  — среднее количество койко-дней нахождения больного в лечебно-профилактическом учреждении (ЛПУ).

Факторы записаны в порядке их важности: самым важным фактором считается  $\Phi_1$ , а фактор  $\Phi_4$  имеет минимальную важность.

При вычислении численного значения показателя  $F_{инт}$  следует учитывать, что все частные факторы  $F_i$  отличаются по размерности и диапазону принимаемых значений. Поэтому при формировании интегрального критерия применяются не абсолютные значения частных критериев, а нормированные. Процедура нормирования представляет собой отношение абсолютного значения частного критерия к некоторой нормирующей величине.

По степени влияния на интегральный показатель лечения МКБ эти факторы существенно различаются. Так увеличение фактора  $\Phi_1$  приводит к росту интегрального показателя, а факторы  $\Phi_2$ — $\Phi_4$  могут оказывать обратное влияние, т. е. при определенных значениях факторов  $\Phi_2$ — $\Phi_4$  общая эффективность лечения МКБ уменьшается. Поэтому при формировании нормирующих выражений для частных факторов нужно составлять их таким образом, чтобы при отклонении абсолютных значений частных факторов  $\Phi_2$ — $\Phi_4$  от средних показателей в большую сторону нормированные факторы становились отрицательными, а при отклонении в меньшую сторону — положительными.

С учетом вышеизложенного фактор  $\Phi_2$  — (средняя длительность операции) в нормированном виде может быть представлен как разница между средней среднестатистической длительностью операции литотрипсии определенным типом литотриптера для данного ЛПУ и фактическим временем длительности операции, отнесенную к среднестатистической длительности:

$$\Phi_2 = \frac{T_{\text{до\_ср}} - T_{\text{до\_факт}}}{T_{\text{до\_ср}}} \times 100\% ,$$

где  $T_{\text{до\_ср}}$  — среднее значение длительности операции;  
 $T_{\text{до\_факт}}$  — фактическая длительность выполненной операции литотрипсии.

Как видно из выражения, если фактическая длительность операции окажется меньше средней, то фактор  $\Phi_2$  будет положительным числом и тем самым будет способствовать повышению показателя интегральный эффективности. Если же фактическая длительность операции превысит среднее значение по отделению (по клинике, региону), то фактор  $\Phi_2$  примет отрицательное значение и понизит интегральный показатель.

Фактор  $\Phi_3$  в нормированном виде может быть представлен как разница между единицей и удвоенным значением коэффициента осложнений. Математически это можно выразить следующей формулой:

$$\Phi_3 = (1 - 2K_{\text{осл}}) \times 100\% ,$$

где  $K_{\text{осл}}$  — коэффициент осложнений, зависящий от степени (класса) осложнения по шкале *Clavien–Dindo* [8].

Коэффициент осложнений может принимать значения от 0 до 1. В работе [6] предложено использовать нелинейную шкалу коэффициента осложнения: коэффициент равен 0 при отсутствии осложнений; 0,2 — при осложнениях 1 степени; 0,5 — при второй степени; 0,75 — при осложнениях степени 3а; 0,8 — осложнениях степени 3б; 0,9 — при осложнениях 4 степени и 1 — при летальном исходе. Множитель 2 перед коэффициентом осложнений выбран таким образом, чтобы при отсутствии осложнений ( $K_{\text{осл}} = 0$ ), фактор  $\Phi_3$  был равен 100 % и прибавлялся со своим весовым коэффициентом к интегральному показателю эффективности, а при наличии осложнения 5-й степени ( $K_{\text{осл}} = 1$ ) фактор  $\Phi_3$  равнялся минус 100 %, т. е. вычитался со своим весовым коэффициентом из общего показателя эффективности.

Фактор  $\Phi_4$  в нормированном виде может быть представлен как разница между средним количеством койко-дней после литотрипсии и фактическим (действительным) значением затраченных койко-дней на лечение больного, отнесенная к среднему количеству койко-дней. При таком определении этого фактора, если реальное количество койко-дней будет меньше среднего, то фактор  $\Phi_4$  будет повышать интегральную интенсивность, в противном случае — снижать. Математически это можно выразить следующей формулой:

$$\Phi_4 = \frac{N_{\text{ккд\_ср}} - N_{\text{ккд\_факт}}}{N_{\text{ккд\_ср}}} \times 100\% ,$$

где  $N_{\text{ккд\_ср}}$  — среднестатистическое количество койко-дней пребывания больного при лечении МКБ в стационаре;  $N_{\text{ккд\_факт}}$  — фактическое количество койко-дней пребывания больного в стационаре.

Факторы  $\Phi_2$ — $\Phi_4$  являются знакопеременными, а фактор  $\Phi_1$  безусловно положительным. Поэтому для оптимизации интегрального критерия следует выбирать тип лазера и задавать параметры излучения таким образом, чтобы обеспечивать максимум фактора  $\Phi_1$  и положительные значения  $\Phi_2$ — $\Phi_4$ . Исследованиями ряда авторов [3, 9, 10] установлено, что при эквивалентных установках параметров лазерного излучения скорости разрушения в режиме распыления (энергия импульсов 0,2—0,5 Дж, частота 8—80 Гц) кальций-оксалатных мочевых камней (*calcium oxalate monohydrate*) тулиевым волоконным литотриптером примерно в три раза выше, чем гольмиевым и в 2,5 раза выше при распылении уратных (*uric acid*) камней. В режиме фрагментации (0,6—0,8 Дж, частота 6—10 Гц) уратных камней скорость тулиевой литотрипсии оказалась в два раза выше, чем гольмиевой. Очевидно, что длительность операции при увеличении скорости дробления камней будет снижаться. Поэтому для повышения фактора  $\Phi_2$  следует применять тулиевую литотрипсию.

При задании параметров лазера следует учитывать следующие обстоятельства. Снижение времени дробления конкрементов может быть достигнуто за счет повышения энергии и частоты следования импульсов лазера. Однако, с одной стороны, превышение энергии излучения выше некоторого предела приводит к возникновению явления ретропульсии, которое характеризуется отскакиванием камня от наконечника оптического зонда и потерей контакта с ним. В результате этого резко снижается эффективность разрушения камня [11]. Для восстановления контакта требуются дополнительные затраты времени, что приводит к увеличению длительности литотрипсии. С другой стороны, превышение энергии импульсов выше определенного уровня приводит к деградации (обгоранию) наконечника оптического зонда и невозможности продолжения процесса дробления [12]. В этом случае требуется операция зачистки наконечника волокна или его полной замены. Это в свою очередь увеличивает длительность процедуры литотрипсии. В работе [13] обоснованы оптимальные значения энергии и частоты следования импульсов тулиевого волоконного лазера, которые минимизируют длительность процедуры дробления камня. Оптимальными значениями энергии и частоты лазерного излучения

при тулиевой литотрипсии в режиме распыления являются соответственно 0,2 Дж, 80 Гц, а в режиме фрагментации 0,8 Дж, 20 Гц.

О преимуществах применения тулиевого волоконного лазера для лечения мочекаменной болезни свидетельствуют и особенности поглощения энергии лазерных колебаний в водной среде. Длина волны излучаемого колебания в волоконных тулиевых лазерах равна 1940 нм, на которой наблюдается максимальная степень поглощения энергии инфракрасных колебаний водой при 22 °С. Это в 4,5 раза выше, чем степень поглощения колебаний гольмиевого *Ho:YAG* лазера с длиной волны 2100 нм. Со степенью поглощения связана глубина оптического проникновения в мягкие ткани человеческого организма и их разрушения (коагуляции). Так, в гольмиевых *Ho:YAG*-лазерах глубина оптического проникновения достигает 400 мкм, а в волоконных тулиевых она составляет всего лишь около 15 мкм. Благодаря этому коэффициент осложнений при тулиевой волоконной литотрипсии  $K_{осл}$  существенно ниже, что приводит к увеличению фактора  $\Phi_3$  и соответственно повышению интегрального коэффициента эффективности лечения МКБ в целом.

При сравнении эффективности лечения МКБ субъектов  $m$  и  $n$  (двух клиник или двух хирургов) может возникнуть ситуация, когда  $F_{инт}^m$  и  $F_{инт}^n$  окажутся равными. Здесь верхние индексы  $m$  и  $n$  обозначают номер сравниваемых субъектов. Например, интегральный критерий эффективности первого лечебного учреждения равен 77 %  $F_{инт}^1 = (43 \ 2 \ 24 \ 8)$ , а интегральный критерий эффективности второго тоже оказался равным 77 %  $F_{инт}^2 = (38 \ 6 \ 18 \ 15)$ . Как в таком случае определить, в каком из лечебных учреждений эффективность лечения выше, т. е. какой из интегральных критериев  $F_{инт}^1$  или  $F_{инт}^2$  является более предпочтительным?

Для определения из двух сравниваемых критериев более предпочтительного  $F_{инт}^m$  или  $F_{инт}^n$  целесообразно представлять их в виде векторов-строк, компонентами которых являются частные критерии  $F_i$ . Затем осуществлять попарное сравнение частных критериев  $F_i^m$  и  $F_i^n$ .

В результате сравнения формируются два вектора предпочтения  $P^m$  и  $P^n$ :

$$P^m = p_1^m + p_2^m + \dots + p_K^m$$

и

$$P^n = p_1^n + p_1^n + \dots + p_K^n.$$

Компоненты вектора предпочтения являются бинарными числами, которые находятся из условия:

$$p_i^m = 1, \text{ если } F_i^m > F_i^n \text{ и } p_i^m = 0, \text{ если } F_i^m < F_i^n .$$
$$p_i^n = 1, \text{ если } F_i^n > F_i^m \text{ и } p_i^n = 0, \text{ если } F_i^n < F_i^m .$$

Отсюда следует, что вектор  $P^n$  представляет собой  $K$ -разрядное двоичное число, инверсное двоичному числу  $P^m$ . Причем крайний левый разряд является старшим в связи с расположением в (1) частных критериев по убыванию.

Таким образом, если в результате сравнения оказалось, что число  $P^m > P^n$ , то более эффективным является критерий  $F^m_{\text{итм}}$ .

Для приведенного выше примера вектор предпочтения  $P^1 = 1010$  (десятичный эквивалент 10) больше вектора  $P^2 = 0101$  (двоичный эквивалент 5). В этом случае принимается решение, что более эффективным критерием лечения МКБ является  $F^1_{\text{итм}}$ .

### 3. Заключение

Проведена систематизация, формализация и нормализация факторов интегрального критерия эффективности, оказывающих влияние на итоговую эффективность лечения мочекаменной болезни методом контактной лазерной литотрипсии. Показано, что более высокая эффективность достигается при использовании тулиевого волоконного лазера.

Предложена методика определения более предпочтительного критерия оценки интегральной эффективности лечения мочекаменной болезни при сравнении эффективности лечения МКБ в двух лечебных учреждениях и при численном равенстве показателей.

Интегральный показатель эффективности лечения МКБ может найти широкое применение в урологической практике, так как он позволяет учитывать не только качество удаления мочевых конкрементов, но и вероятность возникновения послеоперационных осложнений, сказывающихся на стоимости лечения и качестве жизни больного. В дальнейших исследованиях предполагается оценить влияние на показатель интегральной эффективности квалификации хирурга, выполняющего литотрипсию.

### Список литературы

1. Мартов А. Г., Диамант В. М., Борисик А. В. и др. Сравнительное исследование эффективности электроимпульсного и лазерного литотриптеров in vitro // Урология. 2013. № 2. С. 70—78.
2. Чернега В. С., Еременко А. Н. Особенности использования твердотельных лазеров при лечении мочекаменной болезни // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 3. С. 287—295.



3. Чернега В. С., Арбузов И. А. Влияние конструктивных особенностей волоконного тулиевого лазера на клинические характеристики литотриптера // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 4, № 1. С. 31—41.
4. Uygun I., Okur M., Aydogdu B. et al. Efficacy and safety of endoscopic laser lithotripsy for urinary stone treatment in children // Urol. Res. 2012. Vol. 40, no. 6. P. 751—755.
5. Коган М. И., Белоусов И. И., Ясине А. М. Эффективность контактной уретеролитотрипсии в лечении крупных камней проксимального отдела мочеточника // Вестник урологии. 2019. Т. 7, № 1. С. 12—25.
6. Арбузов И. А., Феофилов И. В., Рахимов С. А., Чернега В. С. Интегральный критерий оценки эффективности лечения мочекаменной болезни методом литотрипсии // Вестник урологии. 2022. Т. 10, № 4. С. 5—12.
7. Подиновский В. В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М. : Наука, 2019. 103 с.
8. Mitropoulos D., Artibani W., Graefen M. et al. Reporting and Grading of Complications after Urologic Surgical Procedures: an ad hoc EAU guidelines panel assessment and recommendations // Eur Urol. 2012. Vol. 61, no. 2. P. 341—349.
9. Andreeva V., Vinarov A., Yaroslavsky I. et al. Preclinical comparison of superpulse thulium fiber laser and a holmium:YAG laser for lithotripsy // World J. Urol. 2020. Vol. 38, no. 2. P. 497—503.
10. Попов С. В., Орлов И. Н., Сытник Д. А. и др. Сравнение клинической эффективности гольмиевой и тулиевой уретеролитотрипсии // Экспериментальная и клиническая урология. 2020. № 4. С. 30—34.
11. Kamal W., Kallidonis P., Koukiou G. et al. Stone Retropulsion with Ho:YAG and Tm:YAG Lasers : A Clinical Practice-Oriented Experimental Study // Journal of Endourology. 2016. Vol. 30, No. 11. P. 1145—1149.
12. Hutchens T. C., Gonzalez D. A., Irby P. B., Fried N. M. Fiber optic muzzle brake tip for reducing fiber burnback and stone retropulsion during thulium fiber laser lithotripsy // J. Biomed. Opt. 2017. Vol. 22, no. 1. Art. 018001.
13. Чернега В. С., Арбузов И. А. Оптимизация параметров тулиевого волоконного лазера при проведении трансуретральной контактной литотрипсии // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 2022. № 4. С. 281—282.

### Информация об авторах

**Чернега Виктор Степанович**, к. т. н., доцент кафедры «Информационные системы» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-5054-0396.

**Арбузов Игорь Анатольевич**, заведующий урологическим отделением городской больницы № 9, г. Севастополь, Российская федерация. ORCID 0000-0002-6652-0231.

# Formation of a Multifactorial Criterion for Efficiency Evaluation of Use Laser Technologies in Urology

V. S. Chernega<sup>1</sup> and I. A. Arbuzov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Sevastopol State University*  
*Universitetskaya Str. 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation*  
*vs\_chernega@mail.ru*

<sup>2</sup> *Department of Urology of City Clinical Hospital № 9*  
*Mira Str. 5, Sevastopol, 299018, Russian Federation*  
*arbuzov-007@mail.ru*

Received: May 9, 2023

Peer-reviewed: May 15, 2023

Accepted: May 19, 2023

**Abstract:** *The factors formation the efficiency and safety of urinary stone crushing using holmium and thulium fiber lasers were selected, substantiated and normalized. A multifactorial integral criterion of urolithiasis treatment efficiency by laser lithotripsy was formed and analyzed. Recommendations are given for the use of lasers for crushing urinary stones.*

**Keywords:** *solid-state and fiber lasers, contact laser lithotripsy, multifactorial criterion of treatment effectiveness.*

**For citation (IEEE):** V. S. Chernega and I. A. Arbuzov, "Formation of a Multifactorial Criterion for Efficiency Evaluation of Use Laser Technologies in Urology," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 70–80, 2023, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.1.07. (In Russ.).

## References

- [1] A. G. Martov, V. M. Diamant, A. V. Borisik, A. S. Andronov, and D. A. Dzhililov, "Comparative evaluation of efficacy of electropulse and laser lithotriptors in vitro," *Urologiia*, no. 2, pp. 70–78, 2013. (In Russ.).
- [2] V. S. Chernega and A. N. Eremenko, "Features of use of Solid State Lasers in the treatment of urolithiasis", *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 287–295, 2020. (In Russ.).
- [3] V. S. Chernega and I. A. Arbuzov, "Influence of design features of thulium fiber laser on clinical characteristics of lithotripter", *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 1, pp. 31–41, 2021. (In Russ.).
- [4] I. Uygun, M. H. Okur, B. Aydogdu, Y. Arayici, B. Isler, and S. Otcu, "Efficacy and safety of endoscopic laser lithotripsy for urinary stone treatment in children," *Urological Research*, vol. 40, no. 6, pp. 751–755, Jul. 2012, doi: <https://doi.org/10.1007/s00240-012-0495-x>.

- [5] M. I. Kogan, I. I. Belousov, and A. M. Yassine, "Efficiency of contact ureterolithripsy in treatment of proximal ureteral large stones," *Urology Herald*, vol. 7, no. 1, pp. 12–25, 2019. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2019-7-1-12-25.
- [6] I. A. Arbuzov, I. V. Feofilov, S. A. Rakhimov, and V. S. Chernega, "Integral criterion for estimation the effectiveness of lithotripsy-treated urolithiasis," *Urology Herald*, vol. 10, no. 4, pp. 5–12, 2022. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2022-10-4-05-12.
- [7] V. V. Podinovskiy, *Ideas and methods of the theory of the importance of criteria in multicriteria decision making problems*. Moscow : Nauka, 2019.
- [8] D. Mitropoulos, W. Artibani, M. Graefen, M. Remzi, M. Roupêt, and M. Truss, "Reporting and Grading of Complications After Urologic Surgical Procedures : An ad hoc EAU Guidelines Panel Assessment and Recommendations," *European Urology*, vol. 61, no. 2, pp. 341–349, Feb. 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2011.10.033>.
- [9] V. Andreeva et al., "Preclinical comparison of superpulse thulium fiber laser and a holmium:YAG laser for lithotripsy," *World Journal of Urology*, vol. 38, no. 2, pp. 497–503, May 2019, doi: <https://doi.org/10.1007/s00345-019-02785-9>.
- [10] S. V. Popov, I. N. Orlov, D. A. Sytnik, M. M. Suleimanov, A. V. Emelianenko, E. A. Grin, and I. Yu. Pestryakov, "Comparison of the clinical efficacy of holmium and thulium ureterolithotripsy," *Experimental and Clinical Urology*, vol. 13, no. 4, pp. 30–34, 2020. (In Russ.). DOI: 10.29188/2222-8543-2020-13-4-30-34.
- [11] W. Kamal et al., "Stone Retropulsion with Ho: YAG and Tm: YAG Lasers: A Clinical Practice-Oriented Experimental Study," *Journal of Endourology*, vol. 30, no. 11, pp. 1145–1149, Nov. 2016, doi: <https://doi.org/10.1089/end.2016.0212>.
- [12] T. C. Hutchens, D. A. Gonzalez, P. B. Irby, and N. M. Fried, "Fiber optic muzzle brake tip for reducing fiber burnback and stone retropulsion during thulium fiber laser lithotripsy," *Journal of Biomedical Optics*, vol. 22, no. 1, p. 018001, Jan. 2017, doi: <https://doi.org/10.1117/1.jbo.22.1.018001>.
- [13] V. S. Chernega and I. A. Arbuzov, "Optimization of the parameters of a thulium fiber laser during transurethral contact lithotripsy," *Microwave and Telecommunication Technology*, no. 4, pp. 281–282, 2022. (In Russ.).

### Information about the authors

**Viktor S. Chernega**, Associate Professor on Department of Information Systems. Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation. ORCID 0000-0001-5054-0396.

**Igor A. Arbuzov**, Head of the Department of Urology of City Clinical Hospital No. 9, Sevastopol, Russian Federation. ORCID 0000-0002-6652-0231.