

ISSN 1561-8358 (Print)
ISSN 2524-244X (Online)

ДИАГНОСТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

DIAGNOSTICS AND SAFETY OF TECHNICAL AND ENVIRONMENT SYSTEMS

<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2026-71-3-255-264>
УДК 539.1.04:615.849



Оригинальная статья

Д. И. Козловский*, И. Г. Тарутин, Е. А. Суслова, Н. А. Артемова, В. А. Суслова

*Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр
онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова»,
аг. Лесной, 223040, Минский район, Республика Беларусь*

СПОСОБ ПОДВЕДЕНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ МЕТОДОМ БРАХИТЕРАПИИ

Аннотация. Представлен новый аппликатор для поверхностной брахитерапии, предназначенный для лечения немеланомного рака кожи. Разработанный аппликатор обладает улучшенными характеристиками по сравнению с существующими аналогами, такими как аппликатор Leipzig. Основные преимущества включают уменьшенную толщину стенки у основания (1 мм против 10 мм у Leipzig), что позволяет проводить облучение опухолей вблизи неровностей кожи, а также сокращение времени лечебного воздействия в 2,38–3,45 раза. Дозиметрические исследования показали низкий градиент дозы (до 20 %) на расстоянии до 3 мм от поверхности аппликатора, что обеспечивает более равномерное распределение дозы. Кроме того, предложенный аппликатор требует меньшего отступа (2 мм против 4 мм у Leipzig), что повышает точность позиционирования и комфорт пациента. Эксперименты проводились с использованием рентгеновской пленки и системы планирования Oncentra Brachy и подтвердили эффективность и надежность разработки. Результаты демонстрируют, что новый аппликатор способен повысить пропускную способность радиологических отделений и улучшить качество лечения пациентов с поверхностными новообразованиями.

Ключевые слова: аппликатор, брахитерапия, дозиметрия, немеланомный рак кожи, дозиметрическое планирование

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Информация об авторах: *Козловский Денис Иванович* – кандидат технических наук, ведущий медицинский физик отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», <https://orcid.org/0000-0001-8165-7597>, e-mail: ioilt.med@gmail.com; *Тарутин Игорь Германович* – доктор технических наук, профессор, медицинский физик отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова»; *Суслова Елена Алексеевна* – кандидат медицинских наук, врач – радиационный онколог радиологического отделения № 3 государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», <https://orcid.org/0009-0000-3034-8428>, e-mail: alena_suslova.84@mail.ru; *Артемова Наталия Александровна* – доктор медицинских наук, профессор, ученый секретарь, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», <https://orcid.org/0000-0002-2364-5296>, e-mail: n.artemova@omr.by; *Суслова Валентина Адамовна* – кандидат медицинских наук, врач – радиационный онколог радиологического отделения № 3 государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова».

Вклад авторов: *Козловский Денис Иванович* – сбор и интерпретация данных, подготовка текста статьи; *Тарутин Игорь Германович* – критический пересмотр текста в части значимого интеллектуального содержания; *Суслова Елена Алексеевна* – существенный вклад в замысел и дизайн исследования; *Артемова Наталия Александровна* – окончательное одобрение варианта статьи для опубликования; *Суслова Валентина Адамовна* – сбор данных для исследования.

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.

Для цитирования: Способ подведения терапевтической дозы облучения на поверхностные новообразования методом брахитерапии / Д. И. Козловский, И. Г. Тарутин, Е. А. Суслова [и др.] // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2026. – Т. 71, № 3. – С. 255–264. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2026-71-3-255-264>

Поступила в редакцию: 06.08.2025

Доработанный вариант: 14.04.2026

Утверждена к публикации: 04.06.2026

Подписана в печать: 16.09.2026

Original article

Dzianis I. Kazlouski*, Ihar H. Tarutin, Elena A. Suslava, Natalia A. Artsemava, Valiantsina A. Suslava

*N. N. Alexandrov National Cancer Centre,
agro-town Lesnoy, 223040, Minsk district, Republic of Belarus*

METHOD OF DELIVERY OF THERAPEUTIC DOSE OF RADIATION TO SUPERFICIAL NEOPLASMS BY BRACHYTHERAPY

Abstract. A new superficial brachytherapy applicator has been developed for the treatment of non-melanoma skin cancer. The proposed applicator demonstrates improved performance characteristics compared to existing counterparts, such as the Leipzig applicator. Key advantages include a reduced wall thickness at the base (1 mm versus 10 mm for the Leipzig applicator), enabling irradiation of tumors located near irregular skin surfaces, as well as a reduction in treatment time by a factor of 2.38–3.45. Dosimetric studies revealed a low dose gradient (up to 20%) within a distance of up to 3 mm from the applicator surface, ensuring more uniform dose distribution. Furthermore, the proposed applicator requires a smaller safety margin (2 mm versus 4 mm for the Leipzig applicator), which enhances positioning accuracy and patient comfort. Experiments were conducted using radiographic film and the Oncentra Brachy treatment planning system, confirming the efficacy and reliability of the development. The results demonstrate that the new applicator has the potential to increase throughput in radiotherapy departments and improve treatment quality for patients with superficial neoplasms

Keywords: applicator, brachytherapy, dosimetry, non-melanoma skin cancer, dosimetric planning

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors: *Dzianis I. Kazlouski* – Cand. Sci. (Engineering), Leading Medical Physicist of the Medical Physicist and Engineering Department at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, <https://orcid.org/0000-0001-8165-7597>, e-mail: ioilt.med@gmail.com; *Ihar H. Tarutin* – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Medical Physicist of the Medical Physicist and Engineering Department at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus; *Elena A. Suslava* – Cand. Sci. (Medicine), Radiation Oncologist, Radiological Department no. 3 at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, <https://orcid.org/0009-0000-3034-8428>, e-mail: alena_suslova.84@mail.ru; *Natalia A. Artsemava* – Dr. Sci. (Medicine), Professor, Scientific Secretary, Chief Researcher Radiation Therapy Laboratory at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, <https://orcid.org/0000-0002-2364-5296>, e-mail: n.artemova@omr.by; *Valiantsina A. Suslava* – Cand. Sci. (Medicine), Radiation Oncologist of the Radiological Department no. 3 at N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus.

Contribution of the authors: *Dzianis I. Kazlouski* – data collection and interpretation, preparation of the article text; *Ihar H. Tarutin* – critical revision of the text for significant intellectual content; *Elena A. Suslava* – significant contribution to the concept and design of the study; *Natalia A. Artsemava* – final approval of the article version for publication; *Valiantsina A. Suslava* – data collection for the study.

For citation: Kazlouski D. I., Tarutin I. H., Suslava E. A., Artsemava N. A., Suslava V. A. Method of delivery of therapeutic dose of radiation to superficial neoplasms by brachytherapy. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2026, vol. 71, no. 3, pp. 255–264 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2026-71-3-255-264>

Received: 06.08.2025

Modified: 14.04.2026

Approved for publication: 04.06.2026

Signed to the press: 16.09.2026

Введение. Рак кожи относится к числу наиболее распространенных онкологических заболеваний в мире, причем ежегодно наблюдается рост заболеваемости [1; 2]. Это обуславливает необходимость разработки методов, сокращающих длительность лечения и повышающих точность доставки дозы. Эффективным подходом в терапии немеланомного рака кожи является брахитерапия. Высокая результативность данного метода достигается за счет применения гипофракционированных режимов, высокого градиента дозы и, как следствие, минимального воздействия на окружающие здоровые ткани [3–5].

В современной клинической практике широко применяются аппараты дистанционного управления источником излучения. Аппликаторы, используемые в комплексе с такими системами, обеспечивают доставку радиоактивного источника в заданную область и определяют геометрию поля облучения. Для поверхностной брахитерапии в учреждениях здравоохранения Беларуси преимущественно используется аппликатор Leipzig [6]. Однако его применение ограничено значительной толщиной стенки у основания (более 5 мм), что затрудняет эффективное облучение новообразований, локализованных в зонах с неровным рельефом кожи.

Цель настоящего исследования – оценка дозиметрических и эксплуатационных характеристик разработанного авторами аппликатора для поверхностной брахитерапии немеланомного рака кожи.

Материалы и методы. Разработанный аппликатор для проведения поверхностной брахитерапии состоит из лечебной головки и приемного канала для доставки источника излучения в зону лечебного воздействия. Лечебная головка представляет собой полусферу из рентгенозащитного материала с толщиной стенки 14 мм в ее верхней части и 1 мм у основания в области лечебного воздействия. Приемный канал предназначен для движения источника излучения к области терапии, выполнен из нержавеющей стали и расположен на расстоянии 7 мм от поверхности терапевтического воздействия (расстояние от центра приемного канала до основания лечебной головки). Разработанный аппликатор является аналогом аппликатора Leipzig, который имеет толщину лечебной головки у основания 10 мм, а также расстояние от терапевтической позиции источника излучения до поверхности терапевтического воздействия 15 мм.

Для экспериментальной оценки характеристик нами изготовлен опытный образец аппликатора. В качестве основы использована полусфера из рентгенозащитного материала (вольфрама). С противоположных концов головки аппликатора просверлены два отверстия, центры которых расположены на расстоянии 7 мм от поверхности терапевтического воздействия. Пластиковый катетер с внешним диаметром 1,9 мм размещался в отверстиях и крепился с обоих концов лечебной головки при помощи рентгеноконтрастной пуговицы для пластиковых катетеров с целью предотвращения смещения катетера в процессе использования. Катетер укорочен таким образом, чтобы расстояние от края головки до точки соединения с транспортным шлангом составляло 30 мм, что минимизирует путь источника до активной позиции и сохраняет удобство подключения к аппарату. Отверстие в лечебной головке для осуществления терапевтического воздействия увеличено до 5 мм, что на 1 мм больше длины капсулы с источником. Это дает возможность пользователю убедиться в правильности расположения источника в области воздействия при небольших изгибах транспортировочных шлангов, связанных с ограничениями воздействия в труднодоступных местах. Капсула с источником ориентирована параллельно терапевтической поверхности, что способствует формированию более равномерного дозового распределения.

Дозиметрическое планирование выполнено в системе Oncentra Brachy (v. 4.5.2). На искусственно сгенерированной серии изображений реконструирован прямой катетер. Длина катетера соответствовала расстоянию от свободного конца до центра полусферы. Катетер располагался параллельно области предполагаемого воздействия. Активировалась одна наиболее удаленная позиция остановки. Точка нормировки дозы расположена на линии перпендикуляра к катетеру в точке активной позиции остановки на расстоянии 9 мм от центра катетера. Предписанная доза составила 9 Гр и выбрана экспериментально с учетом отклика пленки, удобства облучения, визуализации и расчетов по результатам воздействия.

Измерения дозиметрических параметров аппликатора осуществлялись с использованием радиохромной пленки Gafchromic¹; 16 пленок толщиной 0,35 мм располагались вплотную, образуя водозквивалентную среду толщиной 5,6 мм. Аппликатор фиксировался на верхней пленке в положении, при котором терапевтическое воздействие было направлено к нижней пленке, а источник излучения располагался в центре отверстия лечебной головки. Катетер подключался к аппарату для проведения лечения Microselectron HDR V3 Digital (Nucletron,

¹ Радиохромные пленки GafchromicTM для исследований в ядерной физике и лучевой терапии. URL: https://gafchromic.ru/docs/gafchromic_catalog.pdf

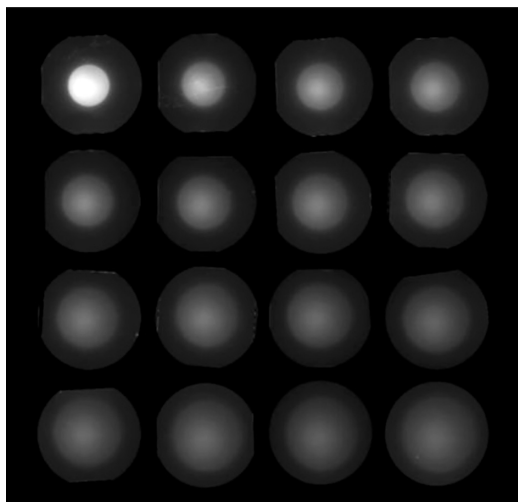


Рис. 1. Экспонированная пленка при измерении дозовых профилей на различных расстояниях от поверхности аппликатора

Fig. 1. Exposed film during measurement of dose profiles at different distances from the applicator surface

Нидерланды), через транспортировочный шланг. Головка аппарата размещалась на уровне стола для расположения рентгеновской пленки при проведении измерений. При помощи системы дозиметрического планирования был создан план облучения на искусственно сгенерированной серии изображений. Лучевое воздействие осуществлялось согласно рассчитанному дозиметрическому плану. Рентгеновская пленка после экспозиции хранилась в непроницаемом для света месте 1 сут с целью сведения к минимуму эффектов пострadiaционного окрашивания.

Дозиметрия выполнялась при помощи сканера Epson 10000XL (Япония). Полученные отсканированные изображения пленок обработаны пакетом программного обеспечения ImageJ bundled with Java 1.8.0_172. Результат сканирования пленок показан на рис. 1.

Результаты и их обсуждение. С целью определения градиента поглощенной дозы в среде при воздействии разработанным аппликатором построена зависимость поглощенной дозы от глубины воздействия перпендикулярно поверхности аппликатора на протяжении всей области воздействия. Такая же зависимость построена и для известного аппликатора Leipzig (Elekta, Швеция). За нулевое значение дозы принималось среднее значение серого (Gray Value) для неэкспонированной пленки, за 100%-ное значение дозы – максимальное значение величины серого для пленки, которая расположена на расстоянии 2,8 мм от терапевтической поверхности аппликатора.

На рис. 2, *a* показана зависимость плотности потемнения рентгеновской пленки от расстояния вдоль терапевтической поверхности аппликатора. Множество кривых на рисунке соответствуют отклику рентгеновских пленок, расположенных на различных расстояниях от терапевтической поверхности аппликатора. Рис. 2, *b* показывает величину поглощенной дозы в относительных значениях для удобства сравнения полученных данных с аппликатором Leipzig.

Полученные данные показывают уровень градиента поглощенных доз не более 20 % по всей области воздействия на расстоянии более 3 мм от поверхности аппликатора. В то же время увеличение дозового градиента в центре аппликатора является несомненным преимуществом при воздействии на мишень, выступающую над терапевтической поверхностью.

Для сравнения разработанного аппликатора с существующим аналогом – аппликатором Leipzig, получены профили глубинных доз от второго аппликатора при сохранении следующих условий облучения: аппликатор прикладывался поверхностью воздействия на рентгеновскую пленку, предписанная доза составила 9 Гр на глубину 2 мм (расстояние от лечебной поверхности до точки нормировки дозы) от поверхности воздействия. Результаты показаны на рис. 3.

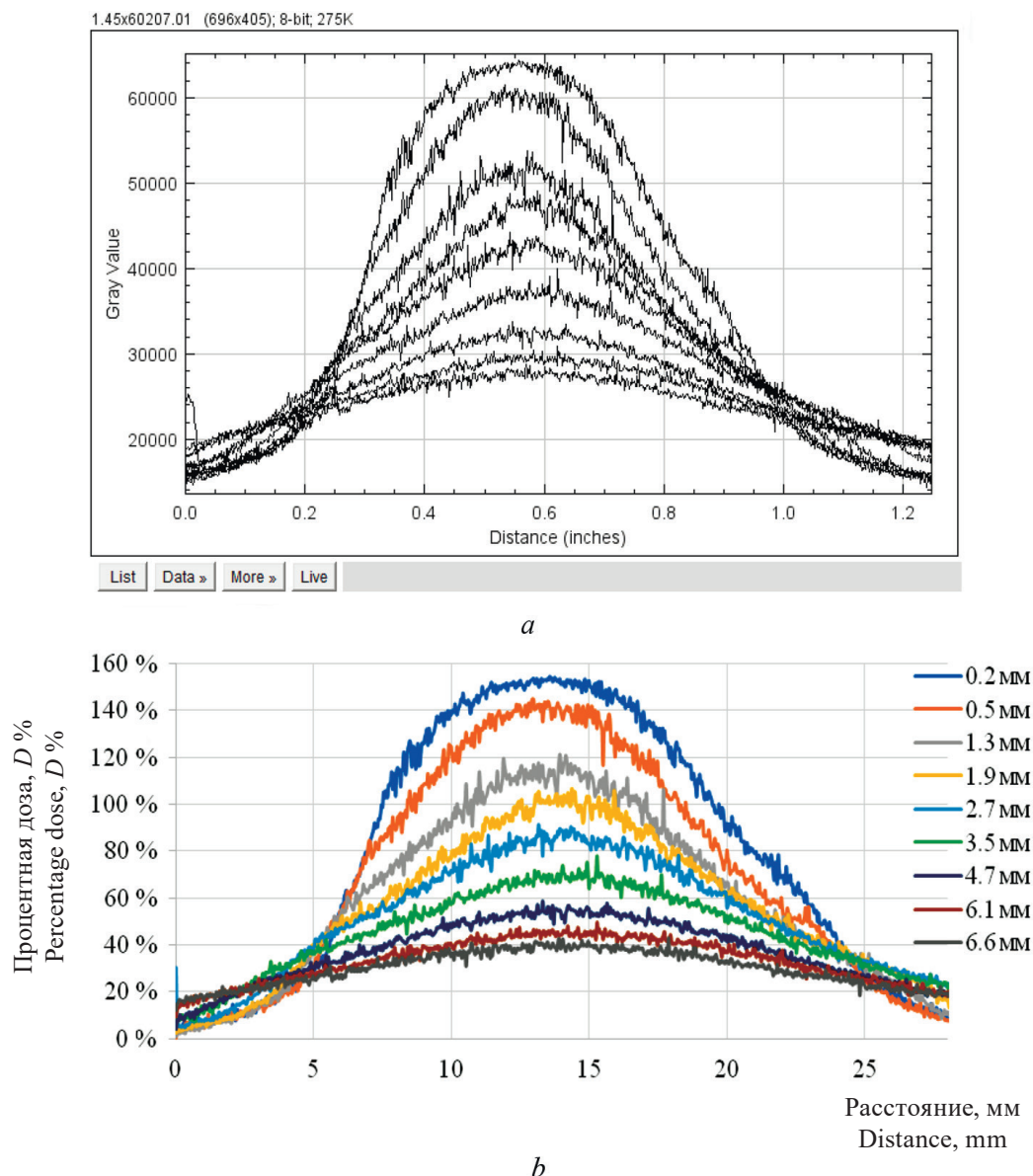


Рис. 2. Глубинное дозовое распределение от разработанного аппликатора:
 а – распределение плотности потемнения в программе ImageJ bundled
 with Java 1.8.0_172 после облучения рентгеновской пленки с использованием аппликатора;
 б – дозовые профили ответа пленки после облучения с использованием аппликатора
 на различных глубинах

Fig. 2. Depth dose distribution from the developed applicator:
 a – distribution of darkening density in the ImageJ bundled with Java 1.8.0_172 program
 after irradiation of X-ray film using the applicator; b – dose profiles of the film response
 after irradiation using the applicator at different depths

Нами установлен характер зависимости времени лечебного воздействия от глубины точки нормирования предписанной дозы для разработанного аппликатора и известного аппликатора Leipzig. Для этого были сформированы дозиметрические планы облучения на системе планирования. На искусственно сгенерированной серии изображений реконструкция аппликатора проводилась по двум точкам для определения ориентации источника в терапевтической позиции по отношению к зоне воздействия. Проведен расчет длительности сеанса лечения при изменении точки нормировки дозы от 0 до 5 мм с шагом 0,5 мм при активности источника 11,438 Ки. Исходя из полученных результатов построен график зависимости времени воздействия от глубины (рис. 4).

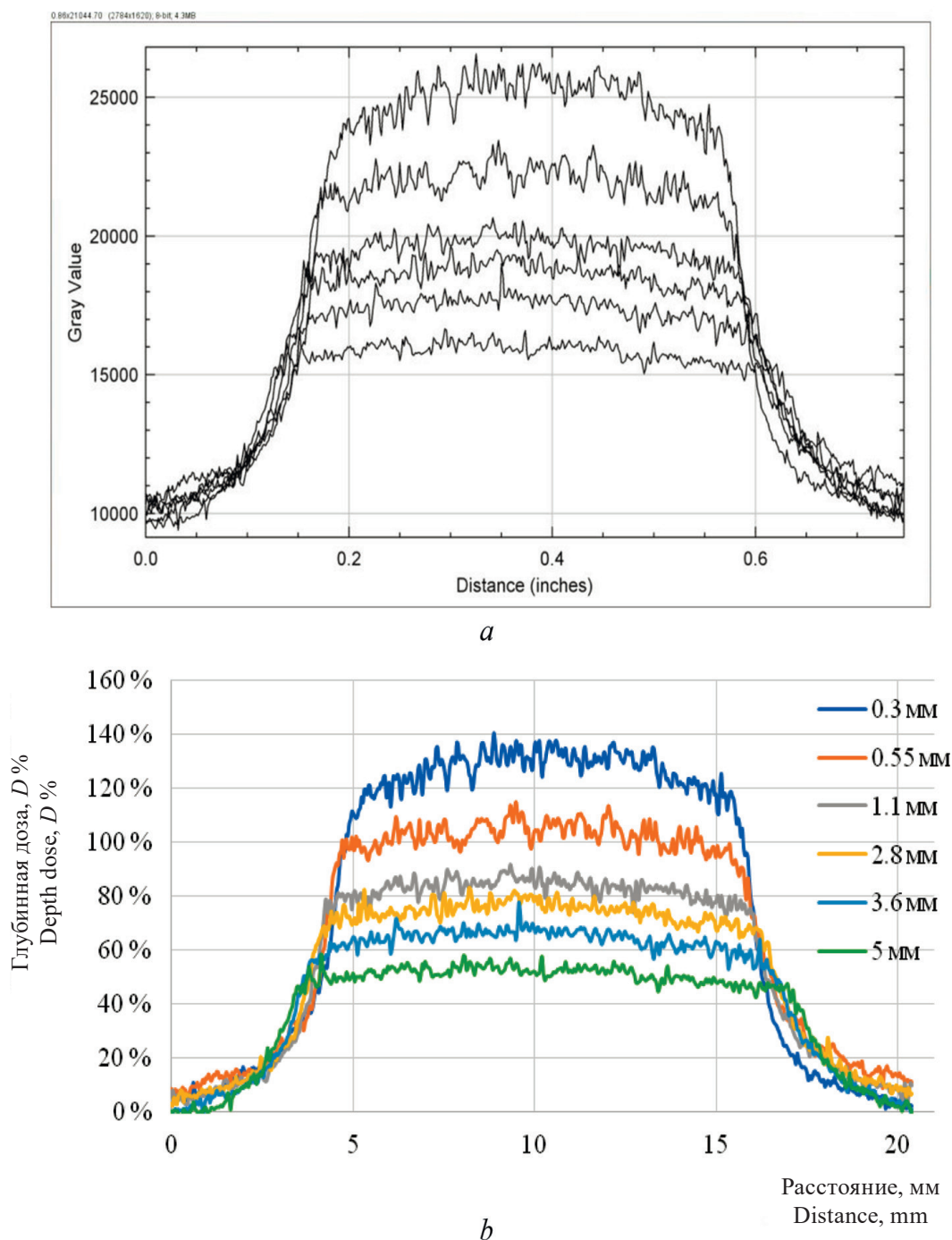


Рис. 3. Глубинное дозовое распределение от аппликатора Leipzig: *a* – распределение плотности потемнения в программе ImageJ bundled with Java 1.8.0_172 после облучения рентгеновской пленки с использованием аппликатора; *b* – дозовые профили ответа пленки после облучения с использованием аппликатора на различных глубинах

Fig. 3. Depth dose distribution from the Leipzig applicator: *a* – distribution of the darkening density in the ImageJ bundled with Java 1.8.0_172 program after irradiation of the X-ray film using the applicator; *b* – dose profiles of the film response after irradiation using the applicator at different depths

Полученные зависимости показывают, что применение разработанного аппликатора позволяет сократить время лечебного воздействия на мишень в $3,45 \pm 1,04$ раза.

С использованием полученных в результате обработки экспонированной пленки данных можно рассчитать отношения плотности потемнения пленки на различных глубинах воздействия. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

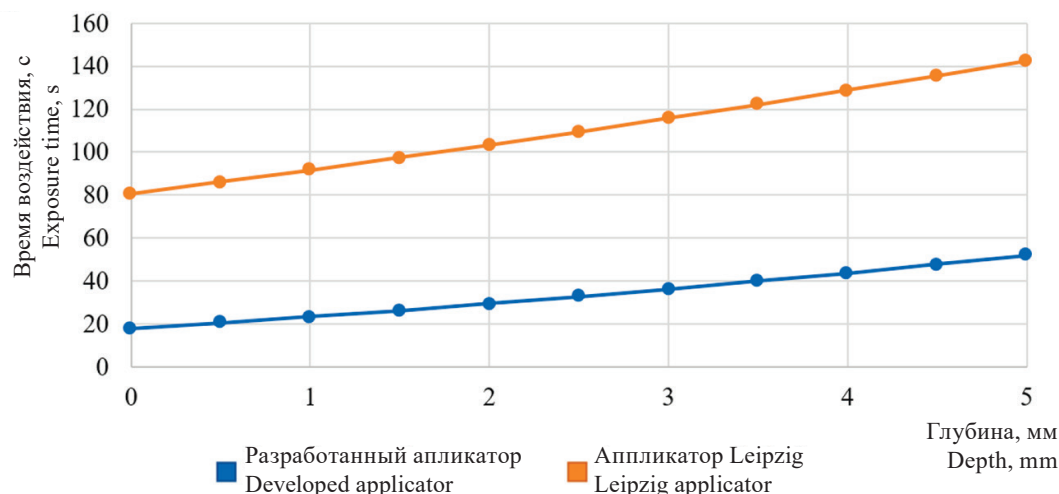


Рис. 4. График зависимости времени лечебного воздействия от глубины для разработанного аппликатора и аппликатора Leipzig

Fig. 4. Graph of the dependence of the time of therapeutic effect on the depth for the developed applicator and the Leipzig applicator

Т а б л и ц а 1. Отношения величин плотности потемнения пленки от разработанного аппликатора и аппликатора Leipzig

Table 1. Ratios of film darkening density values from the developed applicator and the Leipzig applicator

Глубина воздействия, мм Impact depth, mm	Отношение плотности потемнения от аппликатора Leipzig и разработанного аппликатора The ratio of the darkening density from the Leipzig applicator and the developed applicator
0,5	2,61
1,3	2,63
2,7	2,41
3,5	2,19
4,7	2,06
Среднее значение Average value	2,38

В результате проведения эксперимента выявлено, что продолжительность воздействия разработанным аппликатором сократилась в 2,38 раза по сравнению с известным аппликатором Leipzig. Отличие экспериментальных данных от расчетных объясняется тем, что в системе дозиметрического планирования облучения Oncentra Brachy используется алгоритм расчета дозы в воде, созданный на основе международных рекомендаций Американского общества медицинских физиков TG-43U¹. Однако при использовании аппликаторов имеется воздушная прослойка между катетером и поверхностью воздействия.

С целью определения величины отступа, применяемого в случаях использования разработанного и известного аппликаторов, проведены измерения значений отступа при позиционировании аппликатора на область мишени. В качестве мишени для определения отступа у разработанного аппликатора выбрана окружность диаметром 19 мм (на 1 мм меньше диаметра аппликатора). При испытании известного аппликатора Leipzig использовалась окружность радиусом 18 мм. Аппликатор поочередно прикладывали к каждой мишени и очерчивали его контуры, как показано на рис. 5.

¹ Report No. 084 – Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose (2004) // Medical Physics. 2004. Vol. 31. P. 633–674. <https://doi.org/10.1118/1.1646040>

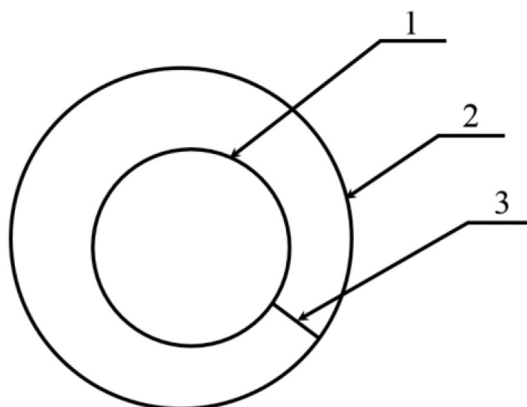


Рис. 5. Изображение контура мишени и приложенного аппликатора при определении величины отступа:
1 – мишень; 2 – очерченный контур аппликатора; 3 – минимальное расстояние между мишенью
и очерченным контуром аппликатора

Fig. 5. Image of the target outline and the attached applicator when determining the indentation value:
1 – target; 2 – outlined contour of the applicator; 3 – minimum distance between the target
and the outlined contour of the applicator

Для эксперимента было выбрано 100 мишеней для каждого аппликатора. Минимальное расстояние от точки на поверхности мишени до рабочей поверхности аппликатора (r , мм) вычисляли по формуле

$$r = \frac{D_1 - D_2}{2} - l,$$

где D_1 – диаметр очерченного контура аппликатора (внешний диаметр аппликатора), мм; D_2 – диаметр рабочей поверхности аппликатора (внутренний диаметр аппликатора), мм; l – минимальное расстояние от точки на поверхности мишени до очерченного контура аппликатора (внешнего диаметра аппликатора), мм.

Результаты измерений показаны на рис. 6. Отрицательные значения указывают на полный охват мишени областью воздействия.

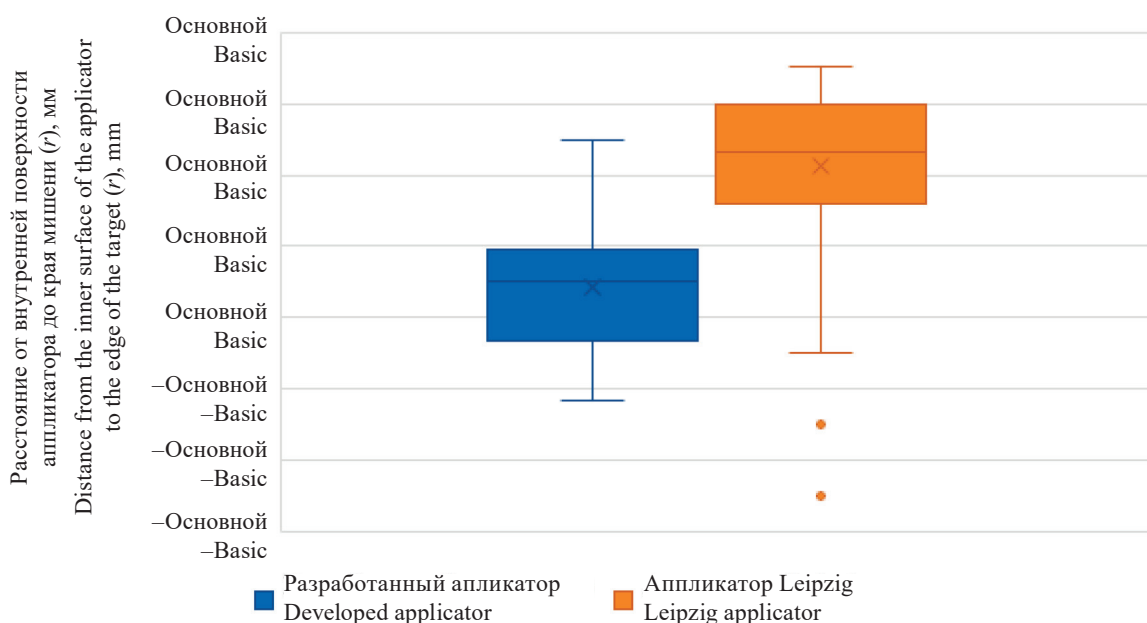


Рис. 6. Распределение значений минимальной величины отступа при лечении методом поверхностной брахитерапии

Fig. 6. Distribution of minimum margin values for treatment with superficial brachytherapy

Полученные значения измерений показывают следующее: чтобы выполнить полный охват мишени для разработанного аппликатора требуется применение 1 мм отступа (что эквивалентно 10 % от размера терапевтического окна). При использовании известного аппликатора Leipzig минимальный размер отступа должен составлять 2 мм, что на 1 мм больше (то есть в 2 раза), чем у разработанного аппликатора.

Сравнение основных характеристик разработанного аппликатора с характеристиками известных аппликаторов от производителя брахитерапевтических аппаратов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение характеристик аппликаторов
 Table 2. Comparison of applicator characteristics

Характеристика Parameter	Разработанный аппликатор Developed applicator	Аппликатор Leipzig Leipzig applicator	Аппликатор Freiburg Freiburg applicator
Облучение образований, выступающих над поверхностью кожи Irradiation of formations protruding above the skin surface	Да Yes	Да Yes	Нет No
Многokrатное использование Multiple use	Да Yes	Да Yes	Ограничено Limited
Среднее время воздействия при помощи аппликатора на мишень Average exposure time with the applicator to the target	t	$t \cdot 3,45$	t
Необходимость предварительного индивидуального дозиметрического планирования The need for preliminary individual dosimetric planning	Нет No	Нет No	Да Yes
Величина отступа, мм The size of the margin, mm	1	2–3	2–3
Минимальное расстояние до выступающих неровностей, мм Minimum distance to protruding bumps, mm	1	5	5

Заключение. Разработан и предложен к использованию аппликатор для проведения поверхностной брахитерапии. Устройство выполнено из рентгенозащитного материала, что повышает радиационную безопасность при его применении. Аппликатор может использоваться многократно, устойчив к процессам дезинфекции и стерилизации. Предложенный способ доставки дозы на поверхностные новообразования позволил повысить точность позиционирования тела аппликатора на зону воздействия (снижение отступа от 4 до 2 мм, что составляет 20 и 10 % соответственно от диаметра рабочей поверхности аппликатора), и сократить время проведения терапии до 2,38 раза по сравнению с известным аппликатором Leipzig.

Сокращение продолжительности лечения повышает комфорт пациента во время процедуры облучения, снижает вероятность смещения аппликатора и повышает пропускную способность брахитерапевтического аппарата.

Список использованных источников

1. Diepgen, T. L. The epidemiology of skin cancer / T. L. Diepgen, V. Mahler // British Journal of Dermatology. – 2002. – Vol. 146, suppl. 61. – P. 1–6. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2133.146.s61.2.x>
2. Green, A. Changing patterns in incidence of non-melanoma skin cancer / A. Green // Epithelial Cell Biology. – 1992. – Vol. 1. – P. 47–51.
3. Madan, V. Non-melanoma skin cancer / V. Madan, J. T. Lear, R. M. Szeimies // The Lancet. – 2010. – Vol. 375, № 9715. – P. 673–685. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61196-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61196-X)
4. HDR brachytherapy for superficial non-melanoma skin cancers / R. Gauden, M. Pracy, A. M. Avery [et al.] // Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology. – 2013. – Vol. 57, № 2. – P. 212–217. <https://doi.org/10.1111/j.1754-9485.2012.02466.x>

5. Non-melanoma skin cancer treated with high-dose-rate brachytherapy: A review of literature / D. Delishaj, A. Rembielak, B. Manfredi [et al.] // *Journal of Contemporary Brachytherapy*. – 2016. – Vol. 8, № 6. – P. 533–540. <https://doi.org/10.5114/jcb.2016.64112>
6. Indikationen und Ergebnisse der HDR-Afterloading-Therapie bei Erkrankungen der Haut und Schleimhaut mit standardisierten Oberflächenapplikatoren (Leipzig-Applikator) / A. Köhler-Brock, W. Prager, S. Pohlmann, S. Kunze // *Strahlentherapie und Onkologie*. – 1999. – Bd. 175, № 4. – S. 170–174.

References

1. Diepgen T. L., Mahler V. The epidemiology of skin cancer. *British Journal of Dermatology*, 2002, vol. 146, suppl. 61, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2133.146.s61.2.x>
2. Green A. Changing patterns in incidence of non-melanoma skin cancer. *Epithelial Cell Biology*, 1992, vol. 1, pp. 47–51.
3. Madan V., Lear J. T., Szeimies R. M. Non-melanoma skin cancer. *The Lancet*, 2010, vol. 375, no. 9715, pp. 673–685. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61196-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61196-X)
4. Gauden R., Pracy M., Avery A. M., Hodgetts I., Gauden S. HDR brachytherapy for superficial non-melanoma skin cancers. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, 2013, vol. 57, no. 2, pp. 212–217. <https://doi.org/10.1111/j.1754-9485.2012.02466.x>
5. Delishaj D., Rembielak A., Manfredi B., Ursino S., Pasqualetti F., Laliscia C., Orlandi F. [et al.]. Non-melanoma skin cancer treated with high-dose-rate brachytherapy: A review of literature. *Journal of Contemporary Brachytherapy*, 2016, vol. 8, no. 6, pp. 533–540. <https://doi.org/10.5114/jcb.2016.64112>
6. Köhler-Brock A., Prager W., Pohlmann S., Kunze S. Indikationen und Ergebnisse der HDR-Afterloading-Therapie bei Erkrankungen der Haut und Schleimhaut mit standardisierten Oberflächenapplikatoren (Leipzig-Applikator). *Strahlentherapie und Onkologie*, 1999, Bd. 175, No. 4, S. 170–174 (German).