

## ПОКОЛЕНИЯ ФОРМУЛ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ

Беликов С. В.

*Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс „Микрохирургия глаза“ имени академика С. Н. Фёдорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Тамбовский филиал, Тамбов, Российская Федерация, e-mail: pvt.leopold@gmail.com*

**Цель:** систематизировать данные литературы по имеющимся формулам для расчета интраокулярных линз. **Методы.** Данный обзор охватывает научные публикации и специализированную литературу, посвященную анализу достоверности расчетных методик для определения оптической силы интраокулярных линз. Поиск материалов осуществлялся путем систематического изучения медицинских и научных электронных баз данных, включая PubMed и Scopus. Было рассмотрено 28 рецензируемых работ, относящихся к теме обзора. **Результаты.** Формулы расчета интраокулярных линз прошли несколько поколений развития, каждое из которых вносило улучшения для повышения точности предсказания силы линзы при проведении операции по удалению катаракты. Теоретические формулы, базирующиеся на принципах физической оптики, появились впервые в 1967 году. Тем не менее их точность была ограничена из-за того, что они не принимали во внимание фактическое расположение основной оптической плоскости интраокулярных линз по отношению к роговице. Второе поколение эмпирических формул, включая SRK и SRK II, основывалось на статистической зависимости силы интраокулярной линзы от предоперационных данных кератометрии и длины глаза. Введение A-константы стало большим достижением. Но эти формулы имели значительные погрешности при малых и больших длинах глаза. Третье поколение смешанных формул, таких как Holladay, SRK/T и Hoffer Q, сочетало законы физиологической оптики с эмпирическими константами для повышения точности. Они учитывали индивидуальное положение интраокулярной линзы и были более универсальны для разных длин глаза. Современные тенденции включают интеграцию искусственного интеллекта для дальнейшей оптимизации существующих формул на основе анализа больших массивов данных. Это значительно снижает среднюю абсолютную ошибку предсказаний и увеличивает число пациентов с желаемым рефракционным результатом. **Заключение.** Достижения в области оптической биометрии и формул расчета интраокулярных линз позволяют уменьшить рефракционную ошибку после имплантации интраокулярных линз. Клиницист может достичь рефракции цели  $\pm 0,5$  диоптрии у большинства пациентов с помощью формул, которые показали стабильные результаты и точность в нескольких крупных исследованиях. Формулы первых трех поколений постепенно заменяются более точными.

**Ключевые слова:** катаракта, факэмульсификация, формулы, интраокулярные линзы, расчет оптической силы.

## FORMULAS FOR CALCULATING THE OPTICAL POWER OF INTRAOCULAR LENSES

Belikov S. V.

*Federal State Autonomous Institution National Medical Research Center Intersectoral Scientific and Technical Complex "Microsurgery of the Eye" named after Academician S. N. Fedorov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tambov Branch, Tambov, Russian Federation, e-mail: pvt.leopold@gmail.com*

**Purpose.** To systematize the literature data on the available formulas for intraocular lens power calculation. **Methods.** This analysis examines research papers and publications that evaluate the precision of intraocular lens power calculation formulas. The literature search was conducted across multiple scientific databases including PubMed and Scopus. 28 peer-reviewed papers related to the topic of the review were considered. **Results.** Formulas for calculating intraocular lenses have undergone several generations of development, each of which introduced improvements to increase the accuracy of predicting the lens power during cataract surgery. The first generation of theoretical formulas based on the laws of physical optics was developed in 1967. However, they did not take into account the individual real position of the principal optical plane of intraocular lenses relative to the cornea, which reduced their accuracy. The second generation of empirical formulas, including SRK and SRK II, were based on the statistical dependence of the intraocular lens power on preoperative keratometry data and eye length. The introduction of the A-constant was a major achievement.

However, these formulas had significant errors at both short and long eye lengths. The third generation of hybrid formulas, such as Holladay, SRK/T, and Hoffer Q, combined the laws of physiological optics with empirical constants to improve accuracy. They took into account the individual position of the intraocular lens and were more universal for different eye lengths. Current trends include the integration of artificial intelligence to further optimize existing formulas based on the analysis of large data sets. This significantly reduces the mean absolute error of predictions and increases the number of patients with the desired refractive outcome. Conclusion. Advances in optical biometry and intraocular lens calculation formulas are reducing refractive error after intraocular lens implantation. The clinician can achieve a target refraction of  $\pm 0.5$  diopters in most patients using formulas that have shown consistent results and accuracy in several large studies. The formulas of the first three generations are gradually being replaced by more accurate ones.

Keywords: cataract, phacoemulsification, formulas, intraocular lenses, optic power calculation.

## **Введение**

Точный расчет оптической силы интраокулярных линз (ИОЛ) является важной темой в офтальмологии, особенно в контексте хирургии катаракты. Актуальность данной проблемы обусловлена рядом факторов.

1. Сложности при различных анатомических условиях: у пациентов с короткой переднезадней осью (ПЗО) и другими аномалиями, такими как иррегулярный астигматизм, точность расчета оптической силы ИОЛ значительно снижается. Это требует разработки альтернативных методов расчета, чтобы обеспечить адекватную коррекцию зрения [1; 2].

2. Разнообразие формул для расчета: существуют различные методы расчета оптической силы интраокулярных линз, которые могут показывать разную точность в зависимости от анатомических особенностей глаза. Некоторые исследования указывают, что у пациентов с аксиальной длиной глаза от 20 до 22 мм точность расчета может быть снижена, что связано с большими погрешностями в существующих формулах и алгоритмах расчета ИОЛ для таких глаз [3]. Это подчеркивает необходимость выбора наиболее подходящей формулы для каждого конкретного случая.

3. Новые технологии: введение новых технологий, таких как ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса - extended depth of focus (EDOF), также требует пересмотра подходов к расчету оптической силы. На сегодняшний день нет консенсуса по выбору формулы для этих новых линз, что делает вопрос актуальным для дальнейших исследований [4].

Таким образом, точный расчет оптической силы ИОЛ остается актуальной и сложной задачей в офтальмологии, требующей постоянного внимания и исследований для улучшения результатов хирургического вмешательства и коррекции зрения у пациентов.

**Цель исследования:** систематизировать данные литературы по имеющимся формулам для расчета ИОЛ.

## **Материалы и методы исследования**

Данный обзор охватывает научные публикации и специализированную литературу, посвященную анализу достоверности расчетных методик для определения оптической силы интраокулярных линз. Поиск материалов осуществлялся путем систематического изучения

медицинских и научных электронных баз данных, включая PubMed и Scopus. Было рассмотрено 28 рецензируемых работ, относящихся к теме обзора.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

#### **Формулы первого поколения (теоретические)**

В 1967 году группа советских ученых (С. Н. Федоров, А. И. Колинко) разработали первую в истории формулу для вычисления оптической силы интраокулярных линз [5]. В основу этой формулы легли принципы физической оптики, описывающие преломление световых лучей в оптических средах глаза. Впоследствии эта и подобные ей формулы, базирующиеся на законах физиологической оптики, стали именоваться теоретическими.

В дальнейшем появились новые теоретические формулы и номограммы, разработанные такими специалистами, как Binkhorst, Colebrander, Colebrander-Shammas, Barret и Olsen. Несмотря на значительное усложнение методик расчета, существенного повышения точности достичь не удалось. Главным недостатком теоретических формул первого поколения было отсутствие учета эффективного положения ИОЛ - индивидуального расположения главной оптической плоскости линзы относительно передней поверхности роговицы.

Для повышения точности расчетов Б. Н. Алексеев и Ю. К. Ширшиков [6, с. 24] предложили метод определения дистанции между вершиной роговицы и передней поверхностью ИОЛ в капсульном мешке, основанный на предоперационных измерениях глубины фактической передней камеры и толщины хрусталика. Недостаточная эффективность теоретических формул первого поколения стимулировала дальнейшие исследования в области определения оптической силы ИОЛ.

#### **Формулы второго поколения (эмпирические)**

В 1980 году группа исследователей (Sanders, Retzlaff и Kraff) разработала инновационный метод вычисления оптической силы интраокулярных линз. Их подход базировался на обширном статистическом анализе клинических данных, включающих предоперационную кератометрию, измерения переднезадней оси глаза и фактические результаты послеоперационной рефракции.

Применив метод наименьших квадратов, они вывели линейную формулу SRK, связывающую необходимую оптическую силу ИОЛ с двумя ключевыми параметрами: средней оптической силой роговицы и переднезадней осью глаза. Формула имела вид:

$$P = A - (2.5 \times AL) - (0.9 \times K),$$

где P - расчетная сила ИОЛ, AL (axial length) - аксиальная длина глаза, K (keratometry) - среднее значение кератометрии, A - константа линзы.

Несмотря на высокую точность расчетов для глаз со стандартными анатомическими параметрами, формула показывала существенные погрешности при расчетах для глаз с

экстремальными значениями переднезадней оси. В частности, точность формулы значительно снижалась при работе с особо короткими или длинными глазами [7].

Формула SRK получила значительное обновление в 1988 году, когда коллектив авторов (Sanders, Retzlaff и Kraff) представил её улучшенную версию - SRK II [8]. Эта модификация стала важным инструментом в области коррекции афакии с помощью интраокулярных линз. Ключевым достижением разработчиков формул SRK и SRK II стало внедрение А-константы в расчеты. Эта абстрактная величина отражает математическую взаимосвязь между оптической силой ИОЛ и предоперационными параметрами глаза. А-константа включает в себя: оптическую силу ИОЛ для достижения эметропии (в диоптриях), оптическую силу роговицы с определенным коэффициентом (в диоптриях), показатель ПЗО глаза с соответствующим коэффициентом (в миллиметрах). В настоящее время А-константа является неотъемлемым элементом практически всех современных формул, используемых для вычисления оптической силы интраокулярных линз [9].

Формула SRK II, несмотря на свою популярность и высокую точность при нормальной длине глаза [5], демонстрирует существенные неточности при расчетах для глаз с нестандартными параметрами [10]. Особенно заметны погрешности при вычислениях для глаз с переднезадней осью короче 22 мм, и в меньшей степени - для глаз с ПЗО более 25 мм [11; 12]. Эти недостатки формул первого поколения, включая ограничения SRK при экстремальных значениях ПЗО, привели к разработке усовершенствованных «смешанных» формул, также известных как формулы третьего поколения. Их особенность заключается в комбинировании теоретических основ физиологической оптики с эмпирически полученными константами и величинами, что позволило значительно повысить точность расчетов.

Формулы третьего поколения (смешанные)

Формула Holladay [13] стала пионером среди смешанных формул для расчета интраокулярных линз. Ключевым нововведением стал индивидуальный подход к определению эффективного положения линзы - effective lens position (ELP) - относительно вершины роговицы. ELP в данной формуле определяется двумя компонентами: 1) глубина передней камеры - anterior chamber depth (ACD) - дистанция между вершиной роговицы и передней поверхностью радужки, рассчитываемая на основе кератометрических и биометрических показателей; 2) фактор хирурга - surgeon factor (SF) - расстояние от радужки до главной оптической плоскости ИОЛ. Изначально автор рекомендовал вычислять фактор хирурга на базе 20-30 проведенных имплантаций по единой методике. В дальнейшем был предложен расчет через А-константу конкретного типа ИОЛ, также были уточнены технические параметры современных моделей линз [10]. Несмотря на широкое применение и высокую точность при различных значениях переднезадней оси глаза, формула имеет

определенные ограничения. В некоторых случаях наблюдается тенденция к миопической погрешности, проявляющаяся в завышении оптической силы ИОЛ. Это связано с особенностями коррекции формулы: при больших значениях ПЗО вводится поправка на возможную непропорциональность переднего сегмента, тогда как для малых и средних значений ПЗО такие корректировки отсутствуют [9].

В 1990 году была разработана комбинированная формула SRK/T, авторами которой вновь стали Sanders, Retzlaff и Kraff [14]. Эта формула включает множество эмпирических корректировок для определения индивидуального расположения основной оптической плоскости интраокулярной линзы, включая А-константу из оригинальной формулы SRK. Особенность формулы заключается в том, что при переднезадней оси глаза более 24,4 мм применяется специальная поправка, учитывающая, что передний сегмент глаза (роговица) не увеличивается пропорционально общей длине глаза. При этом для глаз с малой и средней ПЗО дополнительные корректировки не требуются. SRK/T считается одной из самых универсальных формул для расчета силы ИОЛ при различных значениях ПЗО. Наряду с формулой Holladay, она широко применяется в клинической практике для расчета мультифокальных ИОЛ, определения параметров piggyback-ИОЛ, расчетов после кераторефракционных операций. Однако существуют определенные ограничения - исследователи отмечают, что точность формулы может быть недостаточной при расчете ИОЛ для глаз с ПЗО менее 21 мм [15].

В 1993 году была разработана формула Hoffer Q для расчета оптической силы интраокулярных линз. Эта формула основана на персонализированной передней камере глаза, осевой длине и кривизне роговицы. Формула Hoffer Q показала наибольшую точность при расчете ИОЛ для глаз с короткой осевой длиной (менее 22 мм). В таких случаях она демонстрирует лучшие результаты по сравнению с формулой SRK/T. Изменение глубины передней камеры по-разному влияет на послеоперационную рефракцию в зависимости от длины глаза: в длинных глазах изменение на 1 мм приводит к сдвигу рефракции на 1.0 D; в средних глазах изменение составляет 1.5 D; в коротких глазах изменение может достигать 2.5 D [9]. Формула менее эффективна для глаз с осевой длиной более 23.5 мм. В настоящее время формула Hoffer Q используется преимущественно в специализированных случаях и сравнительных исследованиях. Она остается одной из рекомендованных формул Королевским колледжем офтальмологов для расчета ИОЛ в глазах с короткой осевой длиной [16].

Формула Haigis представляет собой комбинированный подход к расчету силы интраокулярных линз, где эффективное положение линзы интегрируется в оптическую формулу, основанную на принципах физиологической оптики. Уникальность формулы заключается в использовании трех констант ( $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$ ) вместо одной:  $a_0$  регулирует общее

положение кривой прогнозирования силы ИОЛ;  $a_1$  связана с измеренной глубиной передней камеры;  $a_2$  коррелирует с аксиальной длиной глаза. Формула рассчитывает положение ИОЛ, используя персонализированную глубину артификачной передней камеры - personalized anterior chamber depth (persACD), аксиальную длину глаза, предоперационную глубину передней камеры и эмпирические коэффициенты. Хотя формула Haigis разработана для расчета ИОЛ при любой аксиальной длине глаза, данные о её эффективности неоднозначны. В современной клинической практике она, как и формула Hoffer Q, используется преимущественно в исследовательских целях для сравнительного анализа различных методов расчета [9; 17].

За последние 40 лет в области расчета мощности интраокулярных линз для глаз без предшествующих операций применялось несколько основных формул: Haigis, Hoffer Q, Holladay 1, неопубликованная Holladay 2 и SRK/T, которые использовались при лечении миллионов пациентов. Хотя оптическая биометрия значительно развивалась с появлением множества современных приборов [18; 19], существенных изменений в методах расчета ИОЛ не происходило до последнего десятилетия. Особенно заметный прогресс наблюдался в последние 5 лет [16; 20], когда были созданы инновационные формулы для неоперированных глаз, направленные на повышение точности рефракционных прогнозов, которые все еще требуют совершенствования даже для здоровых глаз. Масштабные исследования, включавшие тысячи клинических случаев, позволили провести сравнительный анализ точности этих формул. Параллельно велась разработка специальных формул для расчета торических ИОЛ.

#### Формулы четвертого поколения

Формула Barrett Universal II представляет собой эволюционное развитие параксиальной формулы для толстых линз Barrett Universal I, разработанной доктором Грэмом Барреттом в 1987 году. В процессе совершенствования формулы были внедрены значительные модификации, включая переход от эмпирического метода к использованию данных для прогнозирования радиуса сферы, а также добавление новых параметров - толщины хрусталика и диаметра роговицы. Несмотря на то, что формула относится к категории трассировки лучей, её точная структура остается непубличной. В 2013 году она получила современное название Barrett Universal II (BUII) [21]. Для расчетов формула использует следующие основные параметры: осевая длина глаза, кератометрические данные, глубина передней камеры (от эпителия до хрусталика), опционально - толщина хрусталика и диаметр роговицы. Многочисленные исследования подтверждают высокую точность формулы Barrett Universal II, что позволяет считать её одной из наиболее надежных в своей области. Формула находится в свободном доступе на специализированном веб-ресурсе Asia-Pacific Association of Cataract and Refractive Surgeons (APACRS).

Доктор Tun Kuan Yeo из Сингапура создал инновационную формулу для расчета толстых линз, известную как Emmetropia Verifying Optical (EVO). Эта неопубликованная формула представлена в двух версиях. Актуальная версия 2.0 находится в свободном доступе на специализированном веб-ресурсе. Для расчетов формула использует основные параметры: аксиальную длину глаза, кератометрию и глубину передней камеры. Дополнительно могут учитываться толщина хрусталика - lens thickness (LT) и центральная толщина роговицы - central corneal thickness (CCT). Первая версия формулы продемонстрировала высокую точность по результатам множественных клинических исследований [22].

Доктор Jack Kane разработал инновационную формулу для расчета интраокулярных линз, которая сочетает принципы теоретической оптики и элементы искусственного интеллекта [23]. Несмотря на то, что детали ее структуры не раскрываются, формула учитывает несколько ключевых параметров: осевую длину глаза, кератометрию, глубину передней камеры и пол пациента. Дополнительно могут использоваться толщина хрусталика и центральная толщина роговицы. Многочисленные клинические исследования демонстрируют высокую эффективность данной методики расчета. Формула находится в свободном доступе для медицинских специалистов [22; 24].

Метод расчета Ladas Super Formula представляет собой комплексный подход к расчету интраокулярных линз, созданный под руководством доктора John Ladas. В основе метода лежит интеграция нескольких известных формул: Hoffer Q, Holladay 1, модифицированной Holladay 2 (включающей поправку Wang - Koch для осевой длины), а также SRK/T. Методика базируется на трехмерном моделировании, позволяющем определить оптимальную формулу для каждого конкретного случая [16]. В 2019 году произошло значительное обновление формулы - она была усовершенствована с применением технологий искусственного интеллекта (получив название Ladas Super Formula AI) на основе анализа постоперационных результатов более 4000 глаз.

Доктор медицины Kristian Næser разработал усовершенствованную версию своей формулы для расчета толстых линз, известную как Næser 2. В отличие от первой версии, которая основывалась на производственных характеристиках передней и задней кривизны интраокулярных линз, новая формула использует расчетные параметры конструкции ИОЛ. Особое внимание было уделено оптимизации измерений аксиальной длины, что позволило достичь одинаково высокой точности рефракционных результатов независимо от размера глаза - будь то короткий, средний или длинный. По эффективности формула Næser 2 показала результаты, сопоставимые с формулой BUII [25].

В процессе эволюции формула Olsen, впервые представленная в 1987 году, прошла через несколько этапов совершенствования. Новейшая модификация базируется на принципах

трассировки лучей и применении константы  $C$  [17]. Современная версия использует только два предоперационных параметра для расчета позиции интраокулярной линзы: переднюю камеру глаза и толщину хрусталика. Программное обеспечение PhacoOptics предлагает два метода прогнозирования: стандартный четырехфакторный метод, учитывающий длину глаза, кератометрию, ACD и LT и упрощенный двухфакторный метод на основе константы  $C$ . В современной практике используются четырехфакторная (Olsenstandalone) и двухфакторная версия, основанная на константе  $C$ , интегрированная в оптические биометры. Клинические исследования подтверждают высокую рефракционную точность обоих вариантов формулы.

Доктор медицины David Flickier создал инновационную формулу для расчета интраокулярных линз, которая отличается уникальными возможностями. Ее главное преимущество заключается в том, что она позволяет хирургам учитывать два важных параметра: асферичность роговицы (Q-value) и корреляцию между передней и задней кривизной роговицы. Предполагается, что использование этих дополнительных параметров может значительно повысить точность рефракционных результатов. Формула предоставляется специалистам безвозмездно, однако на данный момент еще не проведены масштабные исследования, подтверждающие ее эффективность [23].

Группа специалистов по офтальмологии из Франции - G. Debellemanière, D. Gatinel и A. Saad - создала новую формулу с применением технологий искусственного интеллекта [26]. Именно первые буквы их фамилий легли в основу названия - Pearl DGS. Хотя формула находится в свободном доступе на специализированном веб-ресурсе iolsolver.com, её внутренний механизм остается неизвестным, поскольку авторы не опубликовали детали её разработки.

Калькулятор на основе радиально-базисных функций - radial basis functions (RBF) был представлен в 2016 году как инновационный инструмент для расчета мощности интраокулярных линз, полностью базирующийся на технологиях искусственного интеллекта. Система интегрирована в оборудование Lenstar производства швейцарской компании HaagStreit и предоставляется для свободного использования через веб-интерфейс. Обновленная версия 2.0 существенно расширила возможности калькулятора, используя базу данных более 12 тысяч клинических случаев. Важным улучшением стала возможность рассчитывать параметры ИОЛ с учетом различных целевых показателей рефракции, в то время как первая версия работала только с нулевой целью. Для проведения расчетов система требует ввода основных биометрических параметров глаза: аксиальная длина, кератометрия, глубина передней камеры. Дополнительно могут быть учтены толщина хрусталика, толщина роговицы в центре и диаметр роговицы - corneal diameter (CD). Несмотря на то, что клинические исследования подтверждают эффективность RBF Calculator в достижении точных

результатов, этот метод пока не смог продемонстрировать превосходство над другими существующими подходами к расчету ИОЛ [27].

Формула T2 представляет собой усовершенствованную версию формулы SRK/T, разработанную в 2010 году под руководством доктора Ричарда М. Шеарда. Главное отличие новой формулы заключается в том, что она устраняет некорректный расчет высоты роговицы, известный как «феномен выступа». Исследования подтвердили, что T2 обеспечивает более высокую точность расчетов по сравнению с исходной формулой SRK/T [28].

Формула на основе вергенции - vergence-based refraction formula (VRF), созданная доктором медицинских наук Алексеем Войцеховским, представляет собой уникальную методику расчета вергенции, которая выделяется среди небольшого числа опубликованных формул в этой области [15]. Для прогнозирования расположения интраокулярной линзы формула учитывает четыре ключевых параметра: аксиальную длину глаза, кератометрию, глубину передней камеры и диаметр роговицы. Автор демонстрирует обнадеживающие результаты при сопоставлении с традиционными формулами вергенции, однако требуется дополнительная проверка эффективности формулы путем сравнения с современными расчетными методиками.

### **Заключение**

Достижения в области оптической биометрии и формул расчета интраокулярных линз позволяют уменьшить рефракционную ошибку после имплантации интраокулярных линз. Клиницист может достичь рефракции цели  $\pm 0,5$  диоптрии у большинства пациентов с помощью формул, которые показали стабильные результаты и точность в нескольких крупных исследованиях. Формулы первых трех поколений постепенно заменяются более точными.

### **Список литературы**

1. Белов Д. Ф., Николаенко В. П. Альтернативный способ расчета оптической силы интраокулярных линз при короткой переднезадней оси глаза // Вестник офтальмологии. 2022. Т. 138 (3). С. 24-28. URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-ofthalmologii/2022/3/downloads/ru/10042465X2022031024> DOI: 10.17116/oftalma202213803124.
2. Сенченко Н. Я., Розанова О. И., Шантурова М. А., Мищенко О. П., Юрьева Т. Н. Оптимизация расчета оптической силы торической ИОЛ у пациентов с катарактой и измененной топографией роговицы // Офтальмохирургия. 2016. № 1. С. 6-13. OAI-PMN OAI-PMN ID: oai:eyepress.ru:article21838 EDN: VTQWID.
3. Першин К. Б., Пашинова Н. Ф., Лих И. А., Цыганков А. Ю. Анализ точности шести формул для расчета оптической силы интраокулярных линз на глазах с аксиальной длиной 20-

22 мм // Саратовский научно-медицинский журнал. 2020. Т. 16 (2). С. 638-642. URL: [https://ssmj.ru/system/files/archive/2020/2020\\_02-1\\_638-642.pdf](https://ssmj.ru/system/files/archive/2020/2020_02-1_638-642.pdf)

EDN: IQEQBG.

4. Першин К. Б., Пашинова Н. Ф., Цыганков А. Ю., Антонов Е. А. Расчет оптической силы интраокулярной линзы с увеличенной глубиной фокуса // Глаз. 2022. Т. 24 (2). С. 25-31. URL: <https://www.theeyeglaz.com/jour/article/view/334> DOI: 10.33791/2222-4408-2022-2-25-31.

5. Федоров С. Н., Колинко А. И. Методика расчета оптической силы интраокулярной линзы // Вестник офтальмологии. 1967. № 4. С. 27-31.

6. Алексеев Б. Н., Ширшиков Ю. К. Ультразвуковая бесконтактно-капельная эхография и имплантация искусственного хрусталика. В кн. Ультразвуковая диагностика и хирургия в офтальмологии. М., 1980. 125 с.

7. Abulafia A., Barrett G., Rotenberg M., Kleinmann G., Levy A., Reitblat O., Koch D., Wang L., Assia E. Intraocular lens power calculation for eyes with an axial length greater than 26.0 mm: Comparison of formulas and methods // J. Cataract. Refract. Surg. 2015. Vol. 41. Is. 3. P. 548-556. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.06.033.

8. Sanders D., Retzlaff J., Kraff M. Comparison of the SRK/II™ formula and other second generation formulas // J. Cataract Refract. Surg. 1988. Vol. 14. Is. 2. P. 136-141. DOI: 10.1016/S0886-3350(88)80087-7.

9. Ворошилова Н. А. Влияние комплекса биометрических показателей на точность расчета оптической силы ИОЛ: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2008. 140 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/vliyanie-kompleksa-biometricheskikh-pokazatelei-na-tochnost-rascheta-opticheskoi-sily-iol>.

10. Патент № 2314064 Российская Федерация, МПК А61F 2/16 (2206.01), Способ определения оптической силы интраокулярной линзы: №2006110278/14: заявл. 31.03.2006: опубл. 10.01.2008 / Аветисов С. Э., Мамиконян В. Р., Иванов М. Н., Юсеф Н. Ю., Бочаров В. Е., Шевелев А. Ю., Ворошилова Н. А. // ФИПС: реестр изобретений Российской Федерации. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=6146&DocNumber=2314064&TypeFile=html](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=6146&DocNumber=2314064&TypeFile=html) (дата обращения: 06.02.2026).

11. Першин К. Б., Пашинова Н. Ф., Цыганков А. Ю., Легких С. Л. Факоемульсификация с имплантацией ИОЛ при экстремально высокой миопии // Катарактальная и рефракционная хирургия. 2015. № 3. С. 14-21. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_24183591\\_70283028.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_24183591_70283028.pdf) EDN: UJFLLD.

12. Першин К. Б., Пашинова Н. Ф., Цыганков А. Ю., Легких С. Л. Особенности расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза 24-28 мм без предшествующих

рефракционных // Офтальмология. 2016. Т. 13 (2). С. 89-96. URL: <https://www.ophtalmojournal.com/opht/article/view/305/313>. DOI: 10.18008/1816-5095-2016-2-89-96.

13. Holladay J., Prager T., Musgrove K., Lewis J., Chandler T., Ruiz R. A three-part system for refining intraocular lens power calculations // J. Cataract Refract Surg. 1988. Vol. 14. P. 17-24. DOI: 10.1016/S0886-3350(88)80059-2.

14. Retzlaff J., Sanders D., Kraff M. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula II // J. Cataract Refract. Surg. 1990. Vol. 16. Is. 3. P. 333-340. DOI: 10.1016/S0886-3350(13)80705-5.

15. Voytsekhivskyy O. V. Development and clinical accuracy of a new intraocular lens power formula (VRF) compared to other formulas // Am J. Ophthalmol. 2018. Vol. 185. P. 56-67. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.10.020.

16. Ladas J. G., Siddiqui A. A., Devgan U. A 3-D "Super Surface" Combining Modern Intraocular Lens Formulas to Generate a "Super Formula" and Maximize Accuracy // JAMA Ophthalmol. 2015. Vol. 133. Is. 12. P. 1431-1436. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.3832.

17. Olsen T., Hoffmann P. C constant: new concept for ray tracing-assisted intraocular lens power calculation // J. Cataract Refract Surg. 2014. Vol. 40. Is. 5. P. 764-773. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.10.037.

18. Ortiz A., Galvis V., Tello A., Viana V., Corrales M. I., Rodriguez M. O., Rodriguez C. J. Comparison of three optical biometers: IOL Master 500, Lenstar LS 900 and Aladdin // Int Ophthalmol. 2019. Vol. 39. P. 1809-1818. DOI: 10.1007/s10792-018-1006-z.

19. Savini G., Hoffer K. J., Balducci N., Barboni P., Schiano-Lomoriello D. Comparison of formula accuracy for intraocular lens power calculation based on measurements by a swept-source optical coherence tomography optical biometer // J. Cataract Refract Surg. 2020. Vol. 46. Is. 1. P. 27-33. DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.08.044.

20. Hoffer K. J., Savini G. Clinical Results of the Hoffer H-5 Formula in 2707 Eyes: First 5th-generation Formula Based on Gender and Race // Int Ophthalmol Clin. 2017. Vol. 57. P. 213-219. DOI: 10.1097/IIO.0000000000000183.

21. Koch D. D., Hill W., Abulafia A., Wang L. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: I. Logical approach for classifying IOL calculation formulas // J. Cataract Refract Surg. 2017. Vol. 43. Is. 6. P. 717-718. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.06.006.

22. Moshirfar M., Sulit C. A., Brown A. H., Irwin C., Ronquillo Y. C., Hoopes P. C. Comparing the Accuracy of the Kane, Barrett Universal II, Hill-Radial Basis Function, Emmetropia Verifying Optical, and Ladas Super Formula Intraocular Lens Power Calculation Formulas // Clin Ophthalmol. 2023. Vol. 17. P. 2643-2652. DOI: 10.2147/OPHT.S417865.

23. Savini G., Taroni L., Hoffer K. J. Recent developments in intraocular lens power calculation methods—update 2020. *Ann Transl Med.* 2020. Vol.22. Is. 8. P. 1553. DOI: 10.21037/atm-20-2290.
24. Guo C., Yin S., Qiu K., Zhang M. Comparison of accuracy of intraocular lens power calculation for eyes with an axial length greater than 29.0 mm. *Int Ophthalmol.* 2022. Vol. 42. Is. 7. P. 2029-2038. DOI: 10.1007/s10792-021-02194-1.
25. Naeser K., Savini G. Accuracy of thick-lens intraocular lens power calculation based on cutting-curd or calculated data for lens architecture // *J. Cataract Refract Surg.* 2019. Vol. 45. Is. 10. P. 1422-1429. DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.05.021.
26. Oh R., Hyon J. Y., Jeon H. S. Accuracy of the PEARL-DGS Formula for Intraocular Lens Power Calculation in Post-Myopic Laser Refractive Corneal Surgery Eyes // *Am J. Ophthalmol.* 2024. Vol. 259. P. 79-87. DOI: 10.1016/j.ajo.2023.10.020.
27. Xia T., Martinez C. E., Tsai L. M. Update on Intraocular Lens Formulas and Calculations // *Asia Pac J. Ophthalmol (Phila).* 2020. Vol. 9. Is. 3. P. 186-193. DOI: 10.1097/APO.0000000000000293.
28. Li H., Ye Z., Luo Y., Li Z. Comparing the accuracy of the new-generation intraocular lens power calculation formulae in axial myopic eyes: a meta-analysis // *Int Ophthalmol.* 2023. Vol. 43. Is. 2. P. 619-633. DOI: 10.1007/s10792-022-02466-4.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.