

УДК 617.77:519.87

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2026-30-2-79-95>



**Математическая модель поддержки выбора
стартовой тактики лечения синдрома сухого глаза,
ассоциированного с дисфункцией мейбомиевых желёз**

А.С. Киселе ^{1,2} ✉

¹ Московская Офтальмологическая Клиника,
ул. Новослободская, д. 48, г. Москва 127055, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: jatsunchik@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Целью настоящей работы являлась разработка математической модели поддержки принятия клинического решения о целесообразности раннего включения IPL-терапии в комплексное лечение пациентов с синдромом сухого глаза, ассоциированным с дисфункцией мейбомиевых желёз, по данным ретроспективного анализа и ограниченного набора рутинных диагностических показателей.

Методы. В работе приведено описание получения и последующей обработки субъективных и объективных клиничко-функциональных данных пациентов с установленным диагнозом синдрома сухого глаза, ассоциированного с дисфункцией мейбомиевых желёз. Анализ выполнен на основе клинических данных, полученных в ходе стандартного офтальмологического обследования в условиях реальной клинической практики. На основании сформированной клинической базы предложена простая и воспроизводимая математическая модель поддержки принятия клинического решения о выборе стартовой тактики лечения по ограниченному набору диагностических показателей (OSDI-6, TBUT, тест Ширмера, шкала Oxford), с их индивидуальной оценкой и клинической интерпретацией.

Результаты. Разработана клиничко-математическая модель поддержки выбора стартовой тактики лечения при ССГ, ассоциированном с ДМЖ, на основании четырёх доступных показателей и формализованного раннего клинического исхода. Модель представлена в виде скор-карты с порогом и логистической формулы для оценки вероятности раннего клинического ответа и обоснования включения IPL-терапии в стартовую тактику лечения. Отягощающие факторы учитывались как потенциальные факторы смещения без расширения набора входных переменных. Подход ориентирован на амбулаторное применение и последующую внешнюю валидацию.

Заключение. Предложенная клиничко-математическая модель поддержки принятия клинического решения может быть использована в амбулаторной практике для более обоснованного и своевременного решения о включении IPL-терапии в комплексное лечение пациентов с синдромом сухого глаза.

Ключевые слова: синдром сухого глаза; дисфункция мейбомиевых желёз; IPL-терапия; математическая модель; поддержка принятия клинических решений.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Киселе А.С. Математическая модель поддержки выбора стартовой тактики лечения синдрома сухого глаза, ассоциированного с дисфункцией мейбомиевых желёз // Известия Юго-Западного государственного университета. 2026. Т. 30, №2. С. 79-95. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2026-30-2-79-95>.

Поступила в редакцию 04.03.2026

Подписана в печать 12.05.2026

Опубликована 23.06.2026

Mathematical model to support the selection of initial treatment tactics for dry eye syndrome associated with meibomian gland dysfunction

Anastasiya S. Kisele^{1,2} ✉

¹ Moscow Ophthalmological Clinic
48, Novoslobodskaya str., Moscow 127055, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: jatsunchik@mail.ru

Abstract

Purpose of this study was to develop a mathematical model to support clinical decision-making regarding the advisability of early inclusion of IPL therapy in the comprehensive treatment of patients with dry eye syndrome associated with meibomian gland dysfunction, based on retrospective analysis and a limited set of routine diagnostic indicators.

Methods. The study describes the collection and subsequent processing of subjective and objective clinical and functional data from patients with a confirmed diagnosis of dry eye syndrome associated with meibomian gland dysfunction. The analysis was performed based on clinical data obtained during a standard ophthalmological examination in real clinical practice. Based on the clinical database, a simple and reproducible mathematical model is proposed to support clinical decision-making on the choice of initial treatment tactics based on a limited set of diagnostic indicators (OSDI-6, TBUT, Schirmer test, Oxford scale) with their individual assessment and clinical interpretation.

Results. A clinical-mathematical model has been developed to support the selection of initial treatment tactics for DED associated with MGD, based on four available indicators and formalized early clinical outcomes. The model is presented in the form of a scorecard with a threshold and a logistic formula for assessing the probability of early clinical response with early initiation of IPL therapy. Aggravating factors were considered as potential confounding factors without expanding the set of input variables. The approach is focused on outpatient use and subsequent external validation.

Conclusion. The proposed clinical-mathematical model for clinical decision support can be used in outpatient practice to make more informed and timely decisions about the inclusion of IPL therapy in the comprehensive treatment of patients with dry eye syndrome.

Keywords: dry eye syndrome; meibomian gland dysfunction; IPL therapy; mathematical model; clinical decision support.

Conflict of interest. The Author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Kisele A.S. Mathematical model to support the selection of initial treatment tactics for dry eye syndrome associated with meibomian gland dysfunction. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2026; 30(2): 79-95 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2026-30-2-79-95>.

Received 04.03.2026

Accepted 12.05.2026

Published 23.06.2026

Введение

Синдром сухого глаза (ССГ) является многофакторной патологией глазной поверхности, сопровождающейся расстройством гомеостаза слёзной плёнки, и в настоящее время рассматривается как одно из наиболее распространённых офтальмологических заболеваний [1, 2, 3]. Согласно исследованию McCann и соавт. (2022), показатели распространённости ССГ в общей популяции составляют от 5 до 50% и зависят от применяемых диагностических критериев и методологии исследований [4]. Значительная распространённость ССГ, его хроническое и нередко тяжёлое течение, частое сочетание с сопутствующей патологией, а также выраженное негативное влияние на качество жизни пациентов определяют высокую клиническую и социальную значимость данного заболевания и позволяют отнести его к числу актуальных проблем современной офтальмологии [5, 6, 7]. ССГ является полиэтиологичной офтальмологической патологией. К основным патогенетическим механизмам его развития относят воспаление и повреждение глазной поверхности, нестабильность слёзной плёнки и повышение её осмолярности, а также нейросенсорные нарушения, что в совокупности приводит к нарушению гомео-

стаза глазной поверхности и формированию «порочного круга» [8, 9, 10].

Одним из базовых симптоматических подходов в лечении синдрома сухого глаза является применение слезозамещающих препаратов местного действия, представленных в виде капельных форм и более вязких гелей или мазей [11]. В рамках консервативной терапии также используются физиотерапевтические методы, включая гигиену век и массаж век [12]. В последние годы в клинической практике получила распространение IPL-терапия интенсивным импульсным светом, применяемая при ССГ, ассоциированном с дисфункцией мейбомиевых желёз (ДМЖ) [13]. Ряд исследований демонстрирует положительный клинический эффект при сочетании IPL-терапии с бесконсервантной слезозаместительной терапией и мероприятиями по гигиене век [14]. Вместе с тем, наличие нескольких терапевтических опций с различной инвазивностью, стоимостью и длительностью курса формирует задачу выбора стартовой тактики лечения, которая в реальной клинической практике зачастую решается эмпирически. Отсутствие формализованных критериев раннего подключения IPL-терапии при ограниченном наборе рутинных диагностических данных обуславливает актуальность разработки математической

модели поддержки принятия клинического решения.

Целью данной работы являлась разработка и методологическое обоснование математической модели поддержки принятия клинического решения о выборе стартовой тактики лечения у пациентов с ССГ на основе минимального набора рутинных диагностических показателей (OSDI-6, TBUT, тест Ширмера, шкала Oxford).

Материалы и методы

В рамках настоящего исследования была разработана математическая модель, относящаяся к классу прогностических моделей поддержки принятия клинических решений, целью которых является оценка вероятности достижения клинически значимого исхода у конкретного пациента на основании ограниченного набора исходных параметров. В отличие от объяснительных (описательных) моделей, ориентированных на выявление и интерпретацию причинно-следственных взаимосвязей между клиническими признаками и заболеванием, прогностические модели нацелены на практическое прогнозирование результата и поддержку выбора тактики лечения в условиях реальной клинической практики [15]. Такое разграничение целей моделирования определяет выбор алгоритма, набора входных переменных и критериев оценки качества модели.

Диагностика ССГ, традиционно, базируется на комплексе клинических тестов, дающих преимущественно поверхностную оценку состояния слёзной плён-

ки и глазной поверхности. Для количественной оценки субъективной выраженности симптомов был использован стандартизированный опросник OSDI-6, позволяющий оценить степень глазного дискомфорта, связанного с синдромом сухого глаза, и влияние заболевания на зрительную активность пациента. Применение валидированных опросников для регистрации субъективных симптомов, включая OSDI-6, согласно рекомендациям TFOS DEWS III (Tear Film and Ocular Surface Society Dry Eye Workshop III Международный консенсус по синдрому сухого глаза Международного общества по изучению слёзной плёнки и глазной поверхности), в качестве обязательного компонента комплексной оценки пациентов с ССГ. Укороченная версия опросника позволила обеспечить воспроизводимость результатов и возможность интеграции субъективного компонента в формализованную математическую модель. В рамках настоящего исследования показатели OSDI-6 были переведены в градации степени тяжести (0–4 балла), что позволяло сопоставлять субъективные жалобы с объективными параметрами состояния глазной поверхности.

Объективную оценку стабильности слёзной плёнки выполняли с использованием пробы Норна (TBUT), определяемой как интервал от последнего моргания до появления первого участка разрыва слёзной плёнки на поверхности роговицы. Показатель TBUT является клиническим маркером нестабильности слёзной плёнки и широко применяется при

диагностике синдрома сухого глаза. При ССГ, ассоциированном с ДМЖ, снижение TBUT рассматривают как функциональное проявление повышенной испаряемости и нарушений механизмов стабилизации слёзной плёнки, в том числе связанных с её липидным компонентом [16, 17].

Для оценки водного компонента слёзной плёнки применялся тест Ширмера, позволяющий количественно определить уровень слезопродукции. Несмотря на преобладание испарительного механизма при ДМЖ, включение данного показателя в анализ обусловлено клинической гетерогенностью пациентов и возможным сочетанием нарушений липидного и водного компонентов слёзной плёнки у части больных, что важно учитывать при персонализированном выборе тактики лечения [16, 17, 18].

Степень поражения эпителия роговицы оценивалась с использованием шкалы Oxford, основанной на анализе выраженности окрашивания роговицы флюоресцеином натрия. Данный показатель отражает тяжесть эпителиальных повреждений и служит интегральным маркером вовлечения глазной поверхности в патологический процесс, а также объективным критерием динамики состояния на фоне проводимой терапии [19].

Таким образом, выбранный набор диагностических параметров – OSDI-6, TBUT, тест Ширмера и шкала Oxford – обеспечивает комплексную оценку субъективных и объективных аспектов ССГ, соответствует современным междуна-

родным рекомендациям и формирует методологически обоснованную основу для построения математической модели поддержки принятия клинического решения о выборе стартовой тактики лечения и оценки вероятности раннего клинического ответа [20].

Работа выполнялась в формате наблюдательного когортного исследования с ретроспективным анализом данных, отражающего условия реальной клинической практики. Анализ проводился на основе медицинской документации пациентов, прошедших обследование и лечение в Московской офтальмологической клинике (МОК).

Оценка клинико-функционального состояния глазной поверхности осуществлялась в нескольких временных точках, зафиксированных в историях болезни: T0 – до начала лечения; T1 – ранний контрольный визит (ориентировочно через 7 суток, с допустимым временным интервалом $\pm 2-3$ дня при наличии соответствующей записи в медицинской документации); и T2 – визит после завершения курса лечения (при наличии, в сводной таблице обозначен как «после курса»). Несмотря на ретроспективный характер сбора данных, временные точки наблюдения (T0, T1, T2) были чётко зафиксированы в медицинской документации, что позволило выполнить динамический анализ показателей в условиях реальной клинической практики. Выбор ранней контрольной точки (T1) был обусловлен клинической целесообразностью оценки первичного функционального ответа глазной поверх-

ности на начатую терапию, до формирования отсроченных эффектов и адаптационных изменений.

Критериями включения в исследование являлось наличие у пациента ССГ, ассоциированного с ДМЖ. Критериями исключения считались формы ССГ, не связанные с ДМЖ, в том числе истинный вододефицитный ССГ при аутоиммунных заболеваниях (например, синдром Шегрена), а также приём пациентами системных ретиноидов, что изначально исключало возможность проведения IPL-терапии.

В исследование включены данные 116 пациентов, получавших лечение в специализированной офтальмологической клинике г. Москвы. Формирование сводной базы осуществлялось на основе первичной медицинской документации и результатов рутинных диагностических обследований. Для обеспечения конфиденциальности персональные данные (ФИО) были удалены, а информация, потенциально позволяющая идентифицировать пациента, в анализ не включалась.

Манипуляции проводили на щелевой лампе Dixon S350 (MediWorks, Китай), представленной на рис. 1. Использовался штатный режим освещения, при этом уровень яркости световой щели специально не документировался. Диагностическое обследование пациентов проводилось по стандартизированному алгоритму с фиксированной последовательностью выполнения тестов, что было направлено на минимизацию взаимного влияния отдельных диагностических про-

цедур и повышение воспроизводимости полученных результатов. Последовательность выполнения тестов определялась их физиологическими особенностями и потенциальным воздействием манипуляций на показатели слёзной плёнки и глазной поверхности.

Тест Ширмера (мм/5 минут) выполнялся первым этапом обследования, до проведения каких-либо манипуляций на глазной поверхности. Выбор данной позиции в диагностическом алгоритме был обусловлен тем, что контакт с веком, закапывание витальных красителей и механическое воздействие при последующих исследованиях могут вызывать рефлекторное изменение слезопродукции и, тем самым, искажать результаты теста. Проведение теста Ширмера на исходном этапе позволяло получить наиболее достоверную оценку водного компонента слёзной плёнки. На рис. 2 представлена тест-полоска для проведения теста Ширмера.

После завершения теста Ширмера стабильность прероговичной слёзной плёнки оценивали с помощью пробы Норна (TBUT) с применением витального красителя – флюоресцеина натрия. Показатель TBUT определяли как время до появления первого участка разрыва слёзной плёнки после моргания. Метод использовался в качестве функционального критерия нестабильности слёзной плёнки и применялся при оценке испарительного варианта ССГ.

Для выполнения пробы Норна (TBUT) и оценки состояния эпителия роговицы использовались офтальмологиче-

ские флюоресцеиновые полоски (Fluo Strip), стерильные, в индивидуальной упаковке, представленные на рис. 3.



Рис. 1. Щелевая лампа Dixon S350 (MediWorks, Китай)

Fig. 1. Dixon S350 Slit Lamp (MediWorks, China)

На следующем этапе выполнялась оценка окрашивания роговицы флюоресцеином натрия по шкале Oxford, что позволяло количественно определить наличие и степень эпителиальных дефектов роговицы как объективного признака поражения глазной поверхности при синдроме сухого глаза.



Рис. 2. Тест-полоска для проведения теста Ширмера

Fig. 2. Test strip for the Schirmer test

Завершающим этапом обследования являлось самостоятельное заполнение пациентом опросника OSDI-6 с последующим подсчётом суммарного балла. Тест OSDI-6 представляет собой сокращённую форму оригинальной шкалы OSDI и включает вопросы, охватывающие основные клинически значимые симптомы синдрома сухого глаза, такие как ощущение сухости, жжения, дискомфорта, а также зрительные нарушения, возникающие в повседневной жизни. Применение укороченной версии опросника обеспечивает удобство использования в условиях амбулаторного приёма и высокую воспроизводимость результатов, что имеет принципиальное значение при формализованном анализе данных.



Рис. 3. Офтальмологические флуоресцеиновые полоски (Fluo Strip)

Fig. 3. Ophthalmic Fluorescein Strips (Fluo Strip)

Размещение опросника в конце диагностического алгоритма позволяло зафиксировать субъективную оценку симптомов синдрома сухого глаза без влияния предварительного обсуждения результатов объективных тестов с врачом и без искажения ответов вследствие диагностических манипуляций. Заполнение опросника осуществлялось самостоятельно пациентом в ходе приёма, без вмешательства врача в процесс выбора ответов. Каждому вопросу соответствовала балльная оценка, отражающая частоту возникновения симптомов. На основании полученных ответов рассчитывался суммарный балл, характеризующий степень выраженности субъективных проявлений синдрома сухого глаза.

В рамках настоящего исследования после заполнения опросника OSDI-6 его результаты кодировались в порядковую шкалу степени выраженности субъективных симптомов синдрома сухого глаза от 0 до 4 баллов и в таком виде вносились в

сводную базу данных. Значение 0 соответствовало отсутствию субъективных проявлений заболевания, 1 – лёгкой степени, 2 – умеренной степени, 3–4 – выраженным (тяжёлым) формам синдрома сухого глаза. Полученные категориальные значения использовались для сопоставления субъективных жалоб пациентов с объективными клинико-функциональными показателями состояния глазной поверхности, а также в качестве входного параметра математической модели. Опросник OSDI-6, применённый в исследовании, представлен на рис. 4.

В рамках математического моделирования единицей анализа в настоящей работе выбран пациент, а не отдельный глаз. Несмотря на то, что в исходной базе данных диагностические показатели фиксировались отдельно для правого и левого глаза, клиническое решение о выборе и коррекции тактики лечения принимается на уровне пациента и распространяется одновременно на оба глаза.

	Всегда	Почти всегда	Часто	Иногда	Никогда
Испытывали ли вы что-либо из следующего в течение обычного дня за последний месяц?					
1. Глаза чувствительны к свету	4	3	2	1	0
2. Зрение затуманивается между морганиями (даже с вашей коррекцией зрения)	4	3	2	1	0
Подшкала: симптомы и зрительные нарушения→					
Мешали ли вам проблемы с глазами выполнять что-либо из следующего в течение обычного дня за последний месяц?					
3. Управлять автомобилем или ехать пассажиром ночью	4	3	2	1	0
4. Смотреть телевизор или выполнять похожие задачи	4	3	2	1	0
Подшкала: зрительные функции и задачи→					
Чувствовали ли вы дискомфорт в глазах в каких-либо из следующих ситуаций в течение обычного дня за последний месяц?					
5. Ветреная погода	4	3	2	1	0
6. Помещения или места с низкой влажностью	4	3	2	1	0
Подшкала: влияние окружающей среды→					

Рис. 4. Структура и балльная шкала опросника OSDI-6, применяемого для оценки симптомов синдрома сухого глаза

Fig. 4. Structure and scoring system of the OSDI-6 questionnaire applied for the assessment of dry eye disease symptoms

Кроме того, показатели правого и левого глаза одного пациента не являются статистически независимыми, что обусловлено общими системными и локальными факторами патогенеза.

С учётом указанного, объект моделирования рассматривается как пациент-ориентированная клиничко-функциональная система, состояние которой в каждый момент наблюдения описывается агрегированным набором диагностических параметров, полученных в ходе стандартного офтальмологического обследования. С математической точки зрения исходное состояние пациента на визите T0 представляется в виде вектора входных переменных, включающего ограниченное чис-

ло клинически интерпретируемых показателей. Выбор входных переменных осуществлялся исходя из принципов воспроизводимости, доступности в рутинной практике и необходимости минимизации размерности модели.

Для параметров, измеряемых отдельно для правого и левого глаза, на этапе подготовки данных применялся метод агрегирования, позволяющий привести данные к формату «один пациент – один набор признаков». Для всех анализируемых показателей в качестве агрегированного значения использовались данные наихудшего глаза. При оценке функционального состояния слёзной плёнки (TBUT, тест Ширмера) в анализ включался

ли минимальные значения, соответствующие наибольшей выраженности нарушений, тогда как при оценке эпителиального повреждения роговицы по шкале Oxford учитывали максимальное значение, отражающее наибольшую степень поражения. Такой подход направлен на снижение риска недооценки тяжести состояния при построении прогностической модели.

С учётом прогностической направленности разрабатываемой математической модели, в рамках настоящего исследования не ставилась задача интерпретации регрессионных коэффициентов как отражения патогенетических механизмов синдрома сухого глаза. Основной целью моделирования являлась оценка вероятности достижения клинически значимого раннего ответа на выбранную стартовую тактику лечения у конкретного пациента. В связи с этим допускалось совместное использование клинически взаимосвязанных показателей, отражающих субъективные и объективные аспекты состояния глазной поверхности. При построении прогностических моделей приоритет отдается устойчивости, воспроизводимости и клинической полезности прогноза, а не строгому устранению корреляций между входными переменными. Отягощающие клинические факторы рассматривались как потенциальные факторы смещения и учитывались на этапе обучения и интерпретации модели без расширения набора входных признаков, что позволило сохранить баланс между клинической интерпретируемостью мо-

дели и её практической применимостью в условиях амбулаторного приёма.

Результаты и их обсуждение

Проведено наблюдательное когортное исследование реальной клинической практики с ретроспективным анализом данных, включающее три временные точки наблюдения: до начала лечения, ранний контрольный визит (≈ 1 неделя после начала терапии) и визит после завершения курса.

В медицинской документации были зафиксированы различные стартовые лечебные тактики: консервативная терапия и консервативная терапия в сочетании с IRL-терапией, проводимой по фиксированному протоколу. На вход модели подаются исходные значения: OSDI-6 (04), TBUT (минимум по глазам), тест Ширмера (минимум по глазам), шкала Oxford (05; максимум по глазам). Ранний клинический успех на 1-й неделе формализован как композит «не менее 2 из 3»: снижение симптомов до лёгкой степени/отсутствия ($OSDI_{1w} < 2$), увеличение стабильности слёзной плёнки ($TBUT_{1w} - TBUT_{pre} \geq 2$ сек) и уменьшение окрашивания по шкале Oxford ($Oxford_{pre} - Oxford_{1w} \geq 1$ балл): Oxford (0–5; максимум по глазам) балл; берётся максимум по глазам).

Логистическая модель вероятности раннего успеха:

$$Y_{успех} = 1 \{ [OSDI_{1w} < 2] + [TBUT_{1w} - TBUT_{pre} \geq 2] + [Oxford_{pre} - Oxford_{1w} \geq 1] \geq 2 \}.$$

Для сопоставимости шкал применена нормировка с единым направлени-

ем «больше = хуже», представленная в табл. 1.

$$z_{\text{OSDI}} = \frac{\text{OSDI}_{\text{pre}}}{4}, \quad z_{\text{TBUT}} = \max\left(0, \frac{8 - \text{TBUT}_{\text{pre}}}{8}\right),$$

$$z_{\text{Schirmer}} = \max\left(0, \frac{15 - \text{Schirmer}_{\text{pre}}}{15}\right),$$

$$z_{\text{Oxford}} = \frac{\text{Oxford}_{\text{pre}}}{5}.$$

Выход математической модели определяется как прогноз клинического ответа пациента на выбранную стартовую тактику лечения. Временная струк-

тура данных включает исходный визит (T0), раннюю контрольную точку (T1) и, при наличии данных, визит после завершения курса терапии (T2). Основной акцент в модели делается на анализе раннего клинического ответа, поскольку именно этот этап имеет наибольшее значение для практического решения о необходимости своевременной модификации лечебной тактики.

Таблица 1. Нормировка исходных показателей

Table 1. Normalization of initial indicators

Показатель / Indicator	Формула нормировки / Normalization formula	Комментарий / Comment
OSDI-6	$z_{\text{OSDI}} = \frac{\text{OSDI}_{\text{pre}}}{4}$	04 степени
TBUT	$z_{\text{TBUT}} = \max\left(0, \frac{8 - \text{TBUT}_{\text{pre}}}{8}\right)$	Целевой порог 8 с
Ширмер	$z_{\text{Schirmer}} = \max\left(0, \frac{15 - \text{Schirmer}_{\text{pre}}}{15}\right)$	Целевой порог 15 мм
Oxford	$z_{\text{Oxford}} = \frac{\text{Oxford}_{\text{pre}}}{5}$	05 баллов

А. Балльная скор-модель (скор-карта). Суммарный балл вычисляется как:

$$S = w_1 \cdot z_{\{\text{OSDI}\}} + w_2 \cdot z_{\{\text{TBUT}\}} + w_3 \cdot z_{\{\text{Schirmer}\}} + w_4 \cdot z_{\{\text{Oxford}\}}.$$

Правило: если $S \geq S^*$ рекомендовано раннее подключение IPL; если $S < S^*$ старт только консервативно с повторной оценкой. В обучении веса w_i получают из регрессионных коэффициентов с последующим округлением. Отягощающие клинические факторы, зафиксированные в медицинской документации, учитываются лишь как корректоры смещения при обучении и не входят в калькулятор; при их наличии допускается

клиническая модификация порога (снижение S^* на 1 условный балл).

В. Единая логистическая модель (индивидуальная польза IPL). Вероятность раннего успеха при стратегии $T \in \{0, 1\}$:

$$\Pr(Y=1|X,T) = \sigma(\beta_0 + \beta_1 z_{\text{OSDI}} + \beta_2 z_{\text{TBUT}} + \beta_3 z_{\text{Schirmer}} + \beta_4 z_{\text{Oxford}} + \beta_T + \gamma_1 z_{\text{OSDI}} T + \dots + \gamma_4 z_{\text{Oxford}} T),$$

$$\sigma(u) = 1 / (1 + e^{-u})$$

$$p_0 = P(Y=1 | T=0, X), \quad p_1 = P(Y=1 | T=1, X), \quad \Delta = p_1 - p_0.$$

Правило: назначать IPL на старте, если $\Delta \geq \theta$ (порог θ выбирается по кривым клинической полезности). При наличии отягощающих факторов допуска-

ется умеренное снижение θ как клиническая надбавка.

Оба формата обеспечили предтерапевтическую стратификацию: скор-карта удобна для печатной/Excel-формы с одним понятным порогом S^* ; логистическая формула даёт пациент-специфические p_0 , p_1 и Δ , облегчая решение в «пограничных» случаях. Композит « ≥ 2 из 3» объединяет симптоматическое (OSDI) и объективные (TBUT, Oxford) улучшения, снижая влияние колебаний единичного показателя.

Таким образом, математическая модель ориентирована не на описание конечного состояния глазной поверхности, а на оценку вероятности достижения клинически значимого улучшения в ранние сроки наблюдения в зависимости от исходного состояния пациента.

При построении математической модели учитывались ограничения исходной клинической базы данных. В анализ не включались демографические характеристики пациентов, а также ряд дополнительных диагностических параметров, не фиксировавшихся систематически в медицинской документации. Отягощающие факторы, отмеченные в сводной базе, рассматривались как клинические модификаторы тяжести состояния, однако не включались в финальный набор предикторов модели, ориентированной на использование ограниченного числа базовых показателей.

Принятые допущения позволили сохранить баланс между клинической интерпретируемостью модели и её практи-

ческой применимостью в условиях амбулаторного приёма.

Все лечебно-диагностические мероприятия, применявшиеся в рамках настоящего исследования, выполнялись в соответствии с инструкциями по медицинскому применению используемых изделий и методик, а также действующими клиническими подходами к ведению пациентов с ССГ, ассоциированного с ДМЖ.

Параметры аппаратных воздействий, в том числе интенсивной импульсной световой терапии, не подвергались экспериментальной модификации, что обеспечивало воспроизводимость условий лечения и корректность последующего математического анализа.

При проведении IPL-терапии соблюдались стандартные меры безопасности: обязательная защита органов зрения пациента непрозрачными защитными очками, предварительная подготовка кожи обрабатываемой области, а также визуальный контроль состояния кожных покровов до и после процедуры. В ходе лечения осуществлялся мониторинг субъективных ощущений пациента и внешнего состояния кожи с целью своевременного выявления нежелательных реакций.

Все вмешательства проводились в условиях амбулаторного приёма с учётом противопоказаний, указанных в инструкциях к применяемым методам. Пациентам предоставлялись рекомендации по постпроцедурному уходу и ограничениям, соответствующим стандартной клинической практике.

Таким образом, исследование выполнялось в рамках разрешённых и клинически апробированных методов, без выхода за пределы нормативной документации и без создания дополнительного риска для пациентов.

Выводы

В результате ретроспективного анализа клинико-функциональных данных 116 пациентов с ССГ, ассоциированным с ДМЖ, разработана математическая модель поддержки принятия клинического решения о выборе стартовой тактики лечения. Модель основана на ограниченном наборе доступных в рутинной практике диагностических показателей (OSDI-6, TBUT, тест Ширмера, шкала Oxford) и формализованном раннем клиническом исходе.

Предложенная модель реализована в виде балльной скор-карты с пороговым правилом и логистической модели с расчётом индивидуальной вероятности клинического ответа при раннем

включении IPL-терапии. Использование отягощающих факторов в качестве корректоров на этапе обучения и при интерпретации результатов позволяет повысить клиническую применимость модели без нарушения принципа минимального набора входных данных.

Разработанный подход ориентирован на поддержку врача в условиях амбулаторного приёма и способствует более обоснованному и своевременному принятию решения о включении IPL-терапии в комплексное лечение пациентов с ССГ, ассоциированным с ДМЖ, без изменения стандартной протокольной длительности терапии.

Перспективой дальнейших исследований является внешняя валидация разработанной математической модели на независимых клинических выборках, а также её интеграция в алгоритмы поддержки принятия клинических решений с целью повышения обоснованности выбора стартовой тактики лечения и улучшения качества ведения пациентов с ССГ.

Список литературы

1. TFOS DEWS III: Management and Therapy // American Journal of Ophthalmology. 2025. 279. P.289-386. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2025.05.039>
2. Kweon S. Sex hormones, meibomian gland dysfunction and dry eye disease. PhD thesis. Sydney: UNSW Sydney, 2025. <https://doi.org/10.26190/unsworks/31242>.
3. Visible meibomian gland structure increases after vectored thermal pulsation treatment in dry eye disease patients with meibomian gland dysfunction / A.S. Hura, A.T. Epitropoulos, C.N. Czyz, E.D. Rosenberg // Clinical Ophthalmology. 2020. 14. P.4287-4296. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S282081>
4. Prevalence and incidence of dry eye and meibomian gland dysfunction in the United States: a systematic review and meta-analysis / P. McCann, A.G. Abraham, A. Mukhopadhyay, K. Panagiotopoulou, H. Chen, T. Rittiphairoj, D.G. Gregory, S.G. Hauswirth, C. Ifan-

tides, R. Qureshi, S.H. Liu, I.J. Saldanha, T. Li // JAMA Ophthalmology. 2022. Vol. 140, № 12. P. 1181-1192. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2022.4394>.

5. The physical and mental burden of dry eye disease: a large population-based study investigating the relationship with health-related quality of life and its determinants / M.K. Morthen, M.S. Magno, T.P. Utheim, H. Snieder, C.J. Hammond, J. Vehof // The Ocular Surface. 2021. 21. P.107-117. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2021.05.006>.

6. Exploring the prevalence of dry eye disease and its impact on quality of life in Saudi adults: a cross-sectional investigation / M.A. Jareebi, A.A. Akkur, D.A.H. Otayf, A.Y. Najmi, O.A. Mobarki, E.Z. Omar, M.A. Najmi, A.Y. Madkhali, N.A.N. Abu Alzawayid, Y.M. Darbeshi, A.A. Alagsam, A.A.A. Alhazmi, O.E.M. Kirat, A.Y. Alqassim // Medicina. 2025. Vol.61, no.6. P.976. <https://doi.org/10.3390/medicina61060976>.

7. From symptoms to satisfaction: optimizing patient-centered care in dry eye disease / E. Villani, S. Barabino, G. Giannaccare, A. Di Zazzo, P. Aragona, M. Rolando // Journal of Clinical Medicine. 2025. Vol. 14, no.1. P.196. <https://doi.org/10.3390/jcm14010196>.

8. Sheppard J.D., Nichols K.K. Dry eye disease associated with meibomian gland dysfunction: focus on tear film characteristics and the therapeutic landscape. Ophthalmology and Therapy. 2023. 12. P. 1397-1418. <https://doi.org/10.1007/s40123-023-00669-1>.

9. TFOS DEWS II definition and classification report / J.P. Craig, K.K. Nichols, E.K. Akpek, B. Caffery, H.S. Dua, C.K. Joo, Z. Liu, J.D. Nelson, J.J. Nichols, K. Tsubota, F. Stapleton // The Ocular Surface. 2017. Vol. 15, no. 3. P. 276-283. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.008>.

10. Exploring new frontiers in dry eye disease: treatments, mechanisms, and diagnostic innovations: a comprehensive review / K. Narendra, S.K. Singh, C.K. Deepa, S. Meghana, K.R. Akanth, M. Manjushree, D. Raajasubramaniyan, S. Srinivasan, R. Murali, H.N. Sowbhagya // Aspects of Molecular Medicine. 2025. 5. P. 100090. <https://doi.org/10.1016/j.amolm.2025.100090>.

11. Возможности восстановления прероговичной слезной пленки у больных с синдромом «сухого глаза»: результаты наблюдательной клинической программы / В.В. Бржеский, Е.А. Дроздова, В.А. Бобрышев, С.Ю. Голубев, Е.В. Бердникова, А.М. Богомоллова // Российский офтальмологический журнал. 2025. Т. 18, № 3. С. 7-14. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-3-7-14>.

12. Терапевтическая гигиена век в алгоритмах профилактики и лечения заболеваний глазной поверхности Часть II. / В.Н., Трубилин Е.Г. Полунина, Е.Ю. Маркова, В.В. Куренков, С.Г. Капкова // Офтальмология. 2016. Т. 13, № 3. С. 205-212. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2016-3-205-212>.

13. IPL-терапия в офтальмологии: обзор литературы / Р.В. Гайбарян, Ю.Б. Федосеев, Э.В. Варданян, Б.В. Варданян // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2025. Т. 33, № 1. С. 117-122. <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ501747>

14. Майчук Д.Ю., Лошкарева А.О., Цветкова Т.В. Алгоритм комплексной терапии синдрома сухого глаза с дисфункцией мейбомиевых желез интенсивным импульсным светом (IPL) в сочетании с гигиеной век и слезозамещением // Офтальмология. 2020. Т.17, № 3S. С. 640-647. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3S-640-647>
15. Искусственный интеллект: объяснительная и прогностическая модели в медицине. Принципы построения и возможности использования / А.И. Кузнецов, Е.В. Щепкина, Т.В. Сушинская, С.В. Епифанова, Д.М. Фаур, А.Д. Каприн, Н.И. Стуклов // Онкогинекология. 2024. № 1. С.44-53.
16. Diagnosis of dry eye syndrome using ocular surface disease index, tear film break-up time, and Schirmer test / S. Humayun, M. Noor, M. Shahid, S.A.H. Naqvi, M. Ishaq, Q. Humayun // Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan. 2024. Vol. 34, no. 3. P. 308-312. <https://doi.org/10.29271/jcpsp.2024.03.308>
17. Новая комплексная клиническая классификация степени тяжести синдрома сухого глаза. Часть 1 / А.В. Трубилин, В.Н. Трубилин, Е.Г. Полунина, Е.А. Каспарова // Офтальмология. 2024. Т. 21, №4. С. 709-715. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-4-709-715>.
18. Stevens S. Schirmer's test. Community Eye Health. 2011 Dec;24(76):45. PMID: 22389568; PMCID: PMC3284761.
19. Review and analysis of grading scales for ocular surface staining / C. Begley, B. Caffery, R. Chalmers, P. Situ, T. Simpson, J.D. Nelson // The Ocular Surface. 2019. Vol. 17. P. 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2019.01.004>.
20. Кореневский Н.А., Родионова С.Н., Киселе А.С. От диагностики к тактике: математическая модель выбора лечения синдрома сухого глаза // Биотехнология и биомедицинская инженерия: сборник научных трудов по материалам XV Международной научно-практической конференции. Курск, 2025. С. 289-291.

References

1. TFOS DEWS III: Management and Therapy. *American Journal of Ophthalmology*. 2025;279:289-386. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2025.05.039>
2. Kweon S. Sex hormones, meibomian gland dysfunction and dry eye disease. PhD thesis. Sydney: UNSW Sydney; 2025. <https://doi.org/10.26190/unswworks/31242>
3. Hura A.S., Epitropoulos A.T., Czyz C.N., Rosenberg E.D. Visible meibomian gland structure increases after vectored thermal pulsation treatment in dry eye disease patients with meibomian gland dysfunction. *Clinical Ophthalmology*. 2020;14:4287-4296. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S282081>
4. McCann P., Abraham A.G., Mukhopadhyay A., Panagiotopoulou K., Chen H., Ritiphairaj T., Gregory D.G., Hauswirth S.G., Ifantides C., Qureshi R., Liu S.H., Saldanha I.J., Li T. Prevalence and incidence of dry eye and meibomian gland dysfunction in the United

States: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Ophthalmology*. 2022;140(12): 1181-1192. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2022.4394>

5. Morthen M.K., Magno M.S., Utheim T.P., Snieder H., Hammond C.J., Vehof J. The physical and mental burden of dry eye disease: a large population-based study investigating the relationship with health-related quality of life and its determinants. *The Ocular Surface*. 2021;21:107-117. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2021.05.006>

6. Jareebi M.A., Akkur A.A., Otayf D.A.H., Najmi A.Y., Mobarki O.A., Omar E.Z., Najmi M.A., Madkhali A.Y., Abu Alzawayid N.A.N., Darbeshi Y.M., Alagsam A.A., Alhazmi A.A.A., Kirat O.E.M., Alqassim A.Y. Exploring the prevalence of dry eye disease and its impact on quality of life in Saudi adults: a cross-sectional investigation. *Medicina*. 2025;61(6):976. <https://doi.org/10.3390/medicina61060976>

7. Villani E., Barabino S., Giannaccare G., Di Zazzo A., Aragona P., Rolando M. From symptoms to satisfaction: optimizing patient-centered care in dry eye disease. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14(1):196. <https://doi.org/10.3390/jcm14010196>

8. Sheppard J.D., Nichols K.K. Dry eye disease associated with meibomian gland dysfunction: focus on tear film characteristics and the therapeutic landscape. *Ophthalmology and Therapy*. 2023;12:1397-1418. <https://doi.org/10.1007/s40123-023-00669-1>

9. Craig J.P., Nichols K.K., Akpek E.K., Caffery B., Dua H.S., Joo C.K., Liu Z., Nelson J.D., Nichols J.J., Tsubota K., Stapleton F. TFOS DEWS II definition and classification report. *The Ocular Surface*. 2017;15(3):276-283. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.008>

10. Narendra K., Singh S.K., Deepa C.K., Meghana S., Akanth K.R., Manjushree M., Raajasubramanian D., Srinivasan S., Murali R., Sowbhagya H.N. Exploring new frontiers in dry eye disease: treatments, mechanisms, and diagnostic innovations: a comprehensive review. *Aspects of Molecular Medicine*. 2025;5:100090. <https://doi.org/10.1016/j.amolm.2025.100090>

11. Brzheskiy V.V., Drozdova E.A., Bobryshev V.A., Golubev S.Yu., Berdnikova E.V., Bogomolova A.M. Possibilities of restoring the precorneal tear film in patients with dry eye syndrome: results of an observational clinical program. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal = Russian Ophthalmological Journal*. 2025;18(3):7-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-3-7-14>.

12. Trubilin V.N., Polunina E.G., Markova E.Yu., Kurenkov V.V., Kapkova S.G. Therapeutic eyelid hygiene in algorithms for prevention and treatment of ocular surface diseases. Part II. *Oftal'mologiya = Ophthalmology*. 2016;13(3):205-212. (In Russ.). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2016-3-205-212>

13. Gaybaryan R.V., Fedoseev Yu.B., Vardanyan E.V., Vardanyan B.V. IPL therapy in ophthalmology: a literature review. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova = I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2025;33(1):117-122. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ501747>

14. Maychuk D.Yu., Loshkareva A.O., Tsvetkova T.V. Algorithm of complex therapy for dry eye syndrome with meibomian gland dysfunction using intense pulsed light (IPL) combined with eyelid hygiene and tear substitutes. *Oftal'mologiya = Ophthalmology*. 2020;17(3S):640-647. (In Russ.). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-3S-640-647>
15. Kuznetsov A.I., Shchepkina E.V., Sushinskaya T.V., Epifanova S.V., Faur D.M., Kaprin A.D., Stuklov N.I. Artificial intelligence: explanatory and prognostic models in medicine. Principles of development and application. *Onkoginekologiya = Oncogynecology*. 2024;(1):44-53. (In Russ.)
16. Humayun S., Noor M., Shahid M., Naqvi S.A.H., Ishaq M., Humayun Q. Diagnosis of dry eye syndrome using ocular surface disease index, tear film break-up time, and Schirmer test. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 2024;34(3):308-312. <https://doi.org/10.29271/jcpsp.2024.03.308>
17. Trubilin A.V., Trubilin V.N., Polunina E.G., Kasparova E.A. New comprehensive clinical classification of dry eye disease severity 2024. Part 1. *Oftal'mologiya = Ophthalmology*. 2024;21(4):709-715. (In Russ.). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-4-709-715>
18. Stevens S. Schirmer's test. *Community Eye Health*. 2011 Dec;24(76):45. PMID: 22389568; PMCID: PMC3284761.
19. Begley C., Caffery B., Chalmers R., Situ P., Simpson T., Nelson J.D. Review and analysis of grading scales for ocular surface staining. *The Ocular Surface*. 2019;17:208-220. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2019.01.004>
20. Korenevskiy N.A., Rodionova S.N., Kisele A.S. From diagnostics to tactics: a mathematical model for selecting treatment of dry eye syndrome. In: *Biotehnologiya i biomeditsinskaya inzheneriya: sbornik nauchnykh trudov po materialam XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Biotechnology and Biomedical Engineering. Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference*. Kursk; 2025. P. 289-291. (In Russ.)

Информация об авторе / Information about the Author

Киселе Анастасия Сергеевна, врач-офтальмолог,
Московская офтальмологическая клиника,
г. Москва, Российская Федерация;
аспирант, Юго-Западный государственный
университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: jatsunchik@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4138-0495>

Anastasiya S. Kisele, Ophthalmologist, Moscow
Ophthalmological Clinic (MOC),
Moscow, Russian Federation,
Post-Graduate Student,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: jatsunchik@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4138-0495>