

УДК 681.735



<https://doi.org/10.33791/2222-4408-2026-1-76-80>

Тенденции в развитии материалов для контактных линз

Марк Эдлстон*

ООО «Контамак»,

Карлтон Хаус, Шайя Хилл, Сафрон Волдэн, Эссекс, CB11 3AU, Великобритания

* Для контактов: Ирина Сандерс, e-mail: irinas@contamac.co.uk

Резюме

В данной статье представлен анализ эволюции современных материалов для контактных линз: от первоначальных полимеров, которые характеризуются высокой плотностью и низкой кислородной проницаемостью, до современных высокотехнологичных материалов, обеспечивающих высокую кислородопроницаемость и повышенный комфорт при ношении на протяжении всего периода эксплуатации. Ключевые технологические инновации, включая внедрение гидрогелей, силикон-содержащих полимеров и фторированных мономеров, позволили существенно улучшить смачиваемость поверхности, стабильность параметров и биосовместимость линз, что способствует поддержанию здоровья роговицы. Совершенствование данных материалов продолжает создавать основу для разработки более безопасных и эффективных типов линз, в том числе специализированных дизайнов, таких как склеральные и ортокератологические линзы.

Ключевые слова: гидрогели, силикон-акрилат, фторсиликон, кислородопроницаемость (Dk), смачиваемость, жесткие контактные линзы, полимеризация

Конфликт интересов: автор является сотрудником компании ООО «Контамак».

Финансирование: статья опубликована при финансовой поддержке компании ООО «Контамак».

Для цитирования: Эдлстон М. Актуальный обзор и анализ материалов, используемых в производстве контактных линз. The EYE GLAZ. 2026;28(1):76–80. doi: 10.33791/2222-4408-2026-1-76-80

Поступила: 15.01.2026

Принята после доработки: 04.02.2026

Принята к публикации: 04.02.2026

Опубликована: 30.03.2026

Перевод статьи: Наталия Кинтюхина



Об авторе

Доктор Марк Эдлстон защитил степень доктора наук (PhD) в Кембриджском университете в 2012 г. Впоследствии занимал позицию руководителя проектов в научно-исследовательском отделе (R&D) компании Contamac, где приобрел значительный опыт в области управления разработками в сфере материалов для контактной коррекции.

An introduction to contact lens materials

Mark Eddleston*

Contamac Ltd.,

Carlton House, Shire Hill, Saffron Walden, Essex CB11 3AU, United Kingdom

* For contacts: Irina Sanders, e-mail: irinan@contamac.co.uk

Abstract

This article explores how modern contact lens materials have evolved from heavy, oxygenblocking early plastics to advanced polymers that allow high oxygen flow, better comfort, and improved durability. Key innovations such as hydrogels, silicone components, and fluorinated monomers have greatly enhanced wettability, stability, and overall eye health. These developments continue to support safer and more effective lenses, including specialised designs like scleral and orthokeratology lenses.

Keywords: hydrogels, silicone acrylate, fluorosilicone, oxygen permeability (Dk), wettability, rigid lenses, polymerisation

Conflict of interest: The author is an employee of Contamac Ltd.

Funding: This article was published with financial support from Contamac Ltd.

For citation: Eddleston M. An introduction to contact lens materials. The EYE GLAZ. 2026;28(1):76–80. doi: 10.33791/2222-4408-2026-1-76-80

Received: 15.01.2026

Accepted: 04.02.2026

Accepted for publishing: 04.02.2026

Published: 30.03.2026

Translation of the article: Nataliya Kintyukhina

Введение в эволюцию материалов для контактных линз

Современный этап развития контактной коррекции зрения характеризуется широким спектром высокоэффективных мягких и жестких полимерных материалов, позволяющих специалистам оптимизировать опыт ношения линз пациентами. Данная ситуация контрастирует с ограниченными возможностями офтальмологов начала XX в. В тот период назначение контактных линз было доступно лишь ограниченному кругу пациентов, а выбор материала, по сути, был безальтернативным («выбор Хобсона»), поскольку единственным материалом было стекло. Однако даже при исключении рисков, связанных с механическим разрушением линзы на глазу, стекло нельзя считать оптимальным материалом в силу его высокой плотности (веса) и технологических сложностей при точном соблюдении необходимых оптических и геометрических параметров. К счастью, прогресс в области материаловедения был неизбежен.

Открытые незадолго до начала Второй мировой войны акриловые пластмассы произвели революцию в авиастроении, предоставив легкий, технологичный, прозрачный материал для остекления кабин, обладающий повышенной ударной прочностью. Для офтальмологии эти свойства оказались столь же значимыми: они открыли перспективы для создания контактных линз и привели к стремительному росту их использования. Полиметилметакрилатные (ПММА) линзы, которые отличались высокой механической прочностью и устойчивостью к образованию белковых отложений, стали почти идеальными для ношения. Однако у ПММА был критический недостаток: этот материал почти полностью блокирует прохождение кислорода. Стратегии минимизации диаметра линзы и максимизации слезного обмена под ней оказались недостаточно для предотвращения развития роговичного отека и связанных с гипоксией осложнений у значительной части пациентов, особенно при длительном ношении.

В ответ на проблему кислородопроницаемости исследователи в области контактной коррекции предложили два принципиальных решения. Первое – добавить в материалы для контактных линз гидрофильный («любящий воду») химический компонент. Данная модификация привела к созданию материалов, настолько сильно притягивающих воду, что их практически невозможно разделить. Молекулы воды буквально проникают внутрь материала, превращая его в гидрогель. Такая гидратация радикально изменила свойства контактных линз: они стали гибкими и более устойчивыми к механическим повреждениям, а поскольку вода способна растворять и переносить молекулы кислорода, была обеспечена необходимая кислородопроницаемость.

Второе решение – сделать кислородопроницаемым сам материал контактной линзы. Этого удалось достичь за счет добавления силикона. Подвижные

химические связи в его молекулах позволяют молекулам кислорода проходить через материал. Так началась новая эпоха жестких контактных линз на основе силикон-акрилатов. Но, к сожалению, решение проблемы кислородопроницаемости привело к появлению других трудностей. Жесткие роговичные линзы с силиконами оказались менее смачиваемыми, более склонными к образованию отложений, подверженными царапинам, сложными в производстве, размерно нестабильными и в целом менее привлекательными для пользователей, пусть и без развития отека роговицы. К счастью, вскоре появились еще два подхода, благодаря которым были созданы удобные жесткие контактные линзы, которыми мы пользуемся сегодня. Первый – включение метакриловой кислоты, придающей материалу смачиваемость и комфорт. Второй – разработка современных фторсиликонакрилатных материалов, которая стала возможной благодаря добавлению фтора.

Трудно сдержать восхищение фтором – этим уникальным химическим элементом. Будучи крайне реакционноспособным в свободном состоянии, при связывании с атомами углерода он полностью меняет свои свойства: становится химически инертным, не растворяясь ни в масле, ни в воде. Сегодня трудно назвать отрасли, где преимущества фтора остаются незадействованными. Антипригарные покрытия сковородок, сверхскользкие лыжи для тех, кто желает мчаться с горы быстрее ветра, покрытия для эндоскопов, препятствующие образованию конденсата, и катетеров, которые облегчают введение и позволяют достичь максимального комфорта для пациентов, – это лишь некоторые примеры.

Если говорить о контактных линзах, то фтор обеспечивает уникальное сочетание таких важнейших преимуществ, как кислородопроницаемость, прочность, стабильность геометрических параметров, химическая инертность, биосовместимость, достаточная жесткость, легкость при изготовлении и оптическая прозрачность. Без фтора жизнеспособность контактных линз была бы серьезно поставлена под угрозу. Особенно значима роль фторсодержащих полимеров в склеральных и ортокератологических линзах: требования к кислородной проницаемости при сохранении всех эксплуатационных характеристик выполняются максимально [1].

Процесс полимеризации

Очевидно, что материалы для контактных линз должны содержать несколько компонентов, каждый из которых вносит свой вклад в улучшение свойств линзы для пользователя. Но каким образом все эти компоненты соединяются между собой?

Это может показаться неожиданным, но большинство компонентов, входящих в состав материала контактной линзы, изначально являются жидкостями. В процессе производства эти жидкости смешивают в заданных пропорциях, полученную

смесь заливают в формы и подвергают нагреву или ультрафиолетовому излучению до тех пор, пока она не затвердеет.

Рассмотрим этот процесс более подробно с химической точки зрения. Жидкости состоят из отдельных молекул, которые могут свободно перемещаться и вращаться. Молекулы в составах для контактных линз особые – это мономеры, и все они содержат активные группы, позволяющие им соединяться друг с другом при определенных условиях. Чаще всего это акрилатные или метакрилатные группы, характеризующиеся двойной связью между двумя атомами углерода (рис. 1). При воздействии тепла или УФ-излучения двойные связи двух соседних молекул вступают в химическую реакцию, в результате которой образуется новая химическая связь, соединяющая молекулы между собой. Этому процессу способствует другой тип молекул – инициатор, который повышает реакционную способность акрилатной или метакрилатной группы одного из мономеров.

Важно отметить, что на этом процесс не заканчивается. После соединения пара новых молекул остается высокореакционной, и к ней могут присоединяться дополнительные мономеры. Таким образом, происходит последовательное наращивание цепи: мономеры объединяются в димеры, димеры – в тримеры, тримеры – в тетрамеры, и по мере протекания реакции смесь постепенно трансформируется. Отдельные молекулы соединяются в длинные цепи, которые, как нетрудно догадаться, называются полимерами. Молекулы больше не могут свободно перемещаться и вращаться, что приводит к затвердеванию смеси.

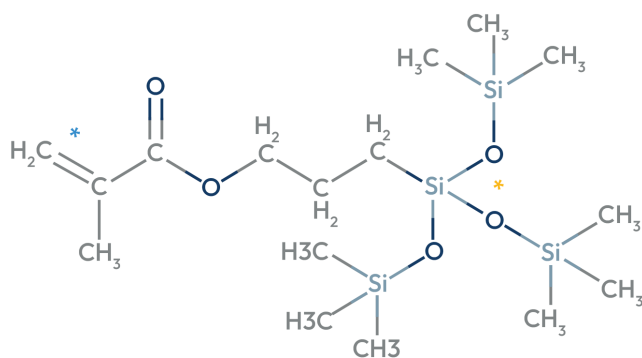


Рис. 1. Мономер метакрилата TRIS (метакрилоилоксипропилтрис (триметилсилокси)силан). Голубой звездочкой обозначена двойная связь между атомами углерода, являющаяся реакционным центром полимеризации, где могут формироваться связи с другими молекулами, приводя к полимеризации. Молекула также содержит силиконовую группу (выделена желтой звездочкой), которая придает материалу кислородопроницаемость

Fig. 1. A methacrylate monomer known as TRIS (Methacryloyloxypropyltris (trimethylsiloxy)silane). The double bond between carbon atoms, highlighted with a purple star, is a reactive site where bonds to other molecules can form leading to polymerisation. The molecule also contains a silicone group, highlighted with a green star, which will confer oxygen permeability to a material

Следует отметить два важных момента, касающихся полимерных цепей. Во-первых, не происходит разделение компонентов по типам. Например, не образуются отдельные цепи из силиконовых мономеров, цепи из фторсодержащих мономеров или цепи из метакриловой кислоты. Вместо этого каждая полимерная цепь содержит все добавленные компоненты, случайным образом распределенные вдоль цепи. Во-вторых, поскольку в материалы для контактных линз добавляют сшивающие агенты, которые имеют две или более активные группы, они способны соединять между собой разные полимерные цепи. В результате вместо набора отдельных цепей, свободно скользящих относительно друг друга (подобно спагетти), образуется взаимосвязанная трехмерная сеть полимерных цепей.

Снижение подвижности, вызванное сшивкой, является одной из причин, по которым столь важно как можно дольше кондиционировать жесткие контактные линзы. Помещение линзы в физиологический или многофункциональный раствор, состоящий в основном из воды, приводит к реорганизации поверхности полимера. Участки полимерных цепей, содержащие гидрофильные мономеры, такие как метакриловая кислота или НЕМА (гидроксиэтилметакрилат (ГЭМА)), стремятся к поверхности, чтобы максимально взаимодействовать с молекулами воды. В то же время участки цепей, состоящие преимущественно из силиконовых и фторсодержащих мономеров, отталкиваются и постепенно смещаются вглубь полимера (рис. 2). Такая поверхностная реорганизация улучшает смачиваемость и, следовательно, повышает комфорт поверхности линзы.

Однако из-за наличия сшивок этот процесс происходит медленно. Как правило, заметное улучшение достигается через 24–48 часов кондиционирования, но для того чтобы максимально повысить смачиваемость поверхности жесткой контактной линзы, может потребоваться месяц или даже больше.

Филконы и фоконы

Помимо коммерческих наименований, каждый материал для контактных линз получает от Совета США стандартизированное непатентованное название по принятым наименованиям (USAN). Эти названия дают представление о химическом составе и свойствах материалов. Каждый материал, содержащий одинаковую комбинацию мономеров, получает одно и то же название USAN. Например, материалы Optimum Extra и Optimum Extreme имеют общее название USAN *roflufoccon*. При этом соотношение мономеров в их составе может варьировать, и поэтому используются буквенные суффиксы. Если несколько материалов с одинаковой комбинацией мономеров существенно различаются по своим характеристикам, им присваиваются разные буквенные обозначения. Так, линейка материалов Optimum на основе *roflufoccon* имеет суффиксы от А до Е в зависимости от уровня кислородопроницаемости этих материалов.

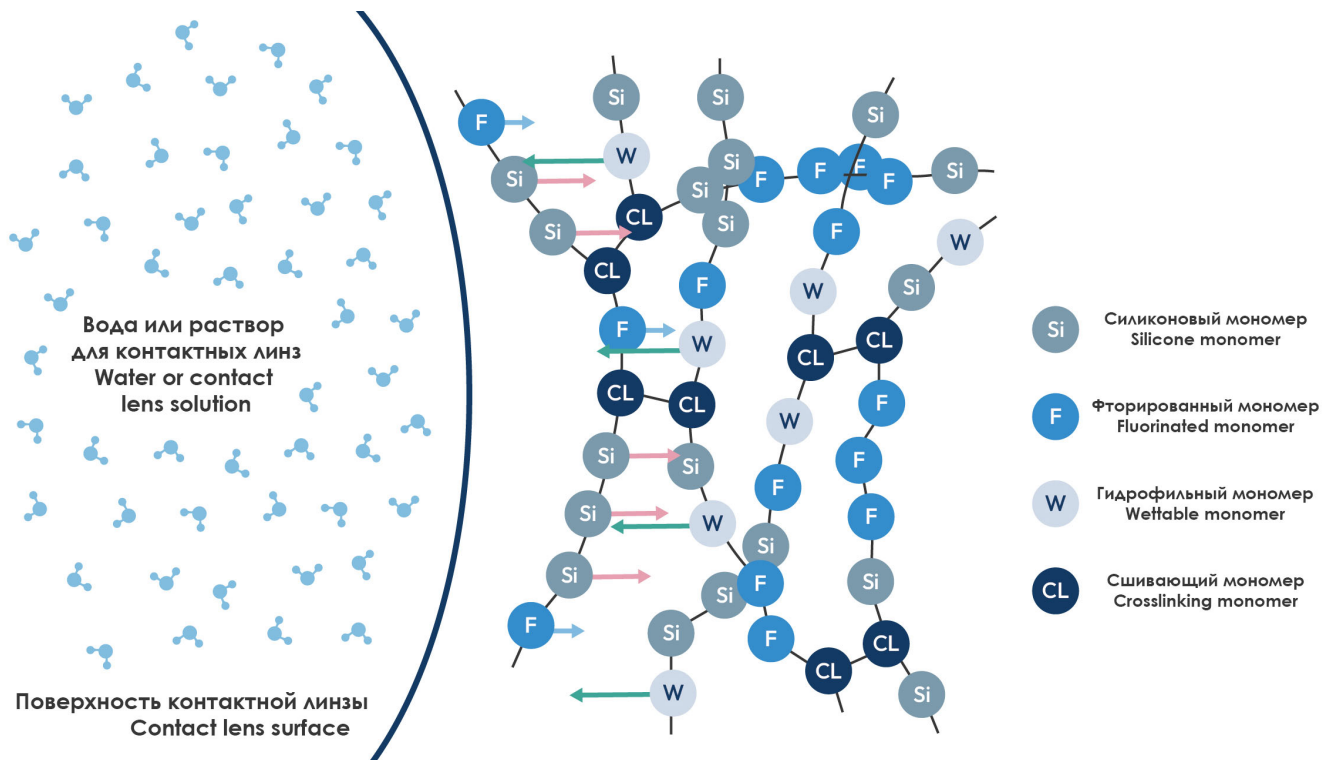


Рис. 2. Схематическое изображение процесса реорганизации поверхности полимера контактной линзы в водной среде. Показана постепенная миграция гидрофильных сегментов полимерных цепей к поверхности для максимизации взаимодействия с молекулами воды, что приводит к повышению смачиваемости и, соответственно, улучшению комфорта поверхности линзы

Fig. 2. Schematic showing how polymer chains at the surface of a contact lens will slowly rearrange to maximise interactions between water molecules and regions of polymer that are rich in wetable monomer. This process increases the wettability, and therefore the comfort, of the lens surface

Важным классификационным признаком является окончание названия USAN, указывающее на то, является ли материал гидрофильным (то есть содержащим более 10% воды) или гидрофобным. Материалы для мягких контактных линз, которые являются гидрофильными, получают USAN-названия с окончанием **-filcon**, тогда как гидрофобные материалы, используемые преимущественно для жестких контактных линз, имеют окончание **-focon**.

Основные компоненты современных материалов для контактных линз

Ниже в *таблице* представлены некоторые широко используемые мономеры, а также их функциональная роль в формировании ключевых свойств контактных линз.

Процесс разработки материалов для контактных линз

Материалы для контактных линз являются сложными системами, содержащими не только несколько различных типов мономеров, но и другие важные компоненты, такие как инициаторы для контроля полимеризации, УФ-блокаторы для защиты глаз от вредного солнечного излучения и красители для удобства визуального контроля при работе с линзой. На самом деле многие материалы состо-

ят из более чем десяти различных компонентов. При разработке новых материалов необходимо не только определить оптимальное сочетание этих компонентов, но и точно подобрать их соотношения. Следовательно, количество уникальных потенциальных формул контактных линз является астрономически большим.

Процесс разработки материала в конечном счете ориентирован на потребности пациентов. Как правило, цель состоит в достижении сбалансированного комплекса свойств, обеспечивающего надежную коррекцию зрения, улучшенный комфорт, длительный срок службы и сохранение здоровья глаз. Возможно также создать материал для узкой группы пациентов или максимизировать одно определенное свойство материала. Например, материалы с высокой кислородопроницаемостью (Dk) могут быть особенно эффективны для пациентов с поврежденной роговицей или после кератопластики. Однако высокие затраты на разработку и регуляторные требования часто делают узкую специализацию экономически нецелесообразной.

Химики, работающие в области контактных линз, постоянно ищут новые мономеры, способные улучшить их эксплуатационные свойства. Показательным примером является замена традиционного силоксанового мономера TRIS на стирил-TRIS при разработке материала Optimum Infinite, предназначенного специально для склеральных

Таблица. Широко используемые мономеры и их функциональная роль в формировании ключевых свойств контактных линз

Table. Widely used monomers and their functional role in the formation of the key properties of contact lenses

Тип Type	Примеры Examples	CAS № CAS No	Характеристики Characteristics
Укрепляющие мономеры Strengthening monomers	Метилметакрилат (ММА) Methyl methacrylate (MMA)	80-62-6	Повышают твердость и долговечность контактных линз Increase the hardness and durability of contact lenses
	Стирол Styrene	100-42-5	
Силиконы Silicones	Метакрилоилоксипропил трис(триметилсилокси)силан (TRIS) Methacryloyloxypropyl tris(trimethylsiloxy)silane (TRIS) Полидиметилсилоксан (PDMS) Polydimethylsiloxane (PDMS)	17096-07-0 63148-62-9	Повышают кислородопроницаемость, но также снижают твердость, стабильность геометрических параметров, смачиваемость и устойчивость к отложениям Increase oxygen permeability, but also reduce hardness, dimensional stability, wettability and deposit resistance
Мономеры фтора Fluorine monomers	Гексафторизопропилметакрилат (HFPM)	3063-94-3	Повышают кислородопроницаемость (в сочетании с силиконом) и устойчивость к отложениям, сохраняя твердость, смачиваемость и стабильность параметров Increase oxygen permeability (in conjunction with a silicone) and deposit resistance, while maintaining hardness, wettability and dimensional stability
	Триметилфторэтилметакрилат (TFEM)	352-87-4	
	Бисгексафторизопропилитаконат (BHI) Bis hexafluoroisopropyl itaconate (BHI)	98452-82-5	
Смачивающий агент Wetting agent	Метакриловая кислота (ММА) Methacrylic acid (MAA)	79-41-4	Снижает угол смачивания материала и улучшает комфорт Lowers the contact angle of a material and improves comfort
Сшивки Crosslinkers	Этиленгликольдиметакрилат (EGDM) Ethylene glycol dimethacrylate (EGDM)	97-90-5	Повышают твердость и стабильность параметров, но также могут повышать хрупкость Increase hardness and dimensional stability, but may also increase brittleness
	Неопентилгликольдиметакрилат (NPGDM) Neopentyl glycol dimethacrylate (NPGDM)	1985-51-9	
	Множество других Many others	Различные Various	
Гидрофильные мономеры (мягкие линзы) Hydrophilic monomers (soft lenses)	Гидроксиэтилметакрилат (HEMA) Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)	868-77-9	Существенно изменяют природу полимеров, способствуя поглощению воды, что снижает твердость и модифицирует кислородопроницаемость Change the nature of polymers substantially by promoting water uptake, which reduces hardness and modifies oxygen permeability
	N-винилпирролидон (NVP) N-vinyl pyrrolidone (NVP)	88-12-0	
	Диэтиламиноэтилметакрилат (DEMA) Diethylaminoethyl methacrylate (DEMA)	105-16-8	

и ортокератологических линз. Данная модификация позволила достичь рекордной кислородопроницаемости до 180 Dk, сохранив при этом высокий модуль упругости для минимизации деформации линзы и избежав типичных недостатков материалов с гипер-Dk, таких как низкая смачиваемость и низкая устойчивость к царапинам.

Хотя появление таких материалов, как Optimum Infinite, представляет значительный прогресс для текущей практики, остается открытым вопрос о том, какие принципиально новые материалы и модальности контактной коррекции будут доступны офтальмологам через столетие.

Литература / References

- Eddleston MD, Raduly L, Tapper TT, Hughes RJ, Browne GM, Conway MJ. The Consequences of Removing Fluorinated Compounds from Rigid Gas Permeable Contact Lenses. *Journal of Polymer Engineering*. 2023. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2022-0189>

Сведения об авторе

Марк Эдлстон, доктор наук Кембриджского университета (Великобритания), ведущий специалист отдела исследований и разработок компании «Контамак».

Information about the author

Mark Eddleston, PhD from the University of Cambridge, Project Leader within the R&D Team at Contamac Ltd.