

# Лазерная техника и безопасность. Вчера, сегодня, завтра. Часть 2\*

**Б.Н. Рахманов**, д-р техн. наук, профессор<sup>1</sup>

**Ю.П. Пальцев**, руководитель группы электромагнитных излучений, д-р мед. наук, профессор<sup>2</sup>

**В.Т. Кибовский**, эксперт<sup>3</sup>

**В.А. Девисилов**, канд. техн. наук, доцент

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт медицины труда Российской академии медицинских наук\*\*

<sup>3</sup> Центр по оценке соответствия и подтверждению качества оборудования, изделий и технологий АНО «АтомТехноТест»

e-mail: rbn8@yandex.ru, devisilov@bmtu.ru

## Ключевые слова:

лазерное излучение,  
лазерная техника,  
лазерная безопасность,  
биологическое действие,  
нормативные документы,  
стандарты, технические регламенты,  
государственное регулирование.

*Во второй части аналитического обзора рассмотрены вопросы биологического действия лазерного излучения и принципы его нормирования. Кратко изложены результаты исследований воздействия лазерного излучения на животных и человека. Рассмотрены как общие механизмы биологического действия лазерного излучения, так и особенности его действия на глаза, кожу и общее состояние здоровья человека. Проведен обзор основных нормативных документов в области лазерной безопасности. Дан анализ правовой коллизии в нормативной базе системы лазерной безопасности в России и ЕС. Обоснована необходимость совершенствования методов государственного регулирования в области лазерной безопасности и ее нормативного регулирования.*

## 1. Биологическое действие лазерного излучения

С начала 1960-х годов в США и СССР проводились работы по исследованию результатов воздействия лазерного излучения на организм животных и человека, разрабатывались математические модели механизмов действия лазерного излучения на биологические структуры. Уже в первых работах в этой области [27–30], появившиеся сразу после публикации статей Меймана и Джавана [8–10], показано, что лазерное излучение (ЛИ) является крайне опасным гомогенным фактором окружающей человека среды обитания. Это потребовало в дальнейшем проведения исследований и разработок в области нормирования и защиты от ЛИ, результаты которых легли в основу создания системы лазерной безопасности (ЛБ).

В 1966 г. в СССР опубликована работа Б. В. Леонова и В. В. Шиходырова «Лазеры и клетка», в которой впервые рассматривались механизмы действия ЛИ на биологические структуры [31]. В 1968 г. опубликована книга С.Файна и Э.Клейна «Биологическое действие излучения лазера» (перевод с английского) [32], в которой обобщены результаты медико-биологических исследований, проведенных в США в 1961–1965 гг. В нашей стране эта книга стала первой обзорной публикацией по вопросу воздействия ЛИ на организм человека. В 1969 г. появилась брошюра «Излучение лазеров. Защита от их неблагоприятного действия» (авторы — Петров И. Р., Бутман А. Б., Жохов В. П. и др.), в которой рассматривались вопросы биологического действия ЛИ (БДЛИ) [33].

\* Продолжение. Начало см.: Безопасность в техносфере. 2014. № 4. С. 72–87. DOI: 10.12737/5308.

\*\* В октябре 2013 г. в рамках реформы Российской академии наук произошло объединение государственных академий наук РАМН и РАСХН с РАН

В последующие годы были опубликованы работы, в которых рассматривались вопросы БДЛИ [34–49]. Современный взгляд на проблему БДЛИ изложен в [50]. Далее мы будем преимущественно использовать эту публикацию.

### *1.1. Общие механизмы биологического действия лазерного излучения*

Действие лазерного излучения на человека зависит от параметров ЛИ, прежде всего от длины волны, мощности (энергии) излучения, длительности воздействия, частоты следования импульсов, размеров облучаемой области (размерный эффект) и анатомо-физиологических особенностей облучаемой ткани (глаз, кожа и пр.).

При малой интенсивности взаимодействие ЛИ с тканями (отражение, поглощение, рассеивание) не отличается от взаимодействия излучения других монохроматических некогерентных источников. С ростом интенсивности излучения процесс взаимодействия усложняется. Высокая энергетическая плотность ведет к структурным изменениям тканей и их оптических свойств непосредственно во время действия излучения. Поскольку ткани имеют разные спектральные характеристики поглощения, ЛИ действует избирательно на различные органы и системы и даже внутриклеточные структуры. Это не противоречит тому, что монохроматичность ЛИ не является существенным отличительным фактором, влияющим на степень его биологического действия. Действительно, высокая монохроматичность ЛИ вызывала бы заметные специфические эффекты в живой ткани только при наличии узких полос поглощения. Такие полосы у сложных молекул не обнаружены [40].

*Тепловой эффект* — важнейший процесс взаимодействия ЛИ с биологическими тканями. Специфика теплового действия ЛИ, в отличие от контактного термического ожога, в том, что в сложных структурах тканей могут нагреваться до высоких температур лишь некоторые слои, а при воздействии коротких импульсов — лишь некоторые элементы клеток, в то время как среднее по всей клетке приращение температуры мало. Кроме того, для лазерного ожога, вызванного импульсом, характерно наличие резких границ пораженного участка. Это объясняется тем, что за короткое время действия импульса тепло не успевает распространиться за пределы облучаемого участка.

Температуру 42°C можно рассматривать как предельно допустимую. Следовательно, безопасным уровнем непрерывного ЛИ будет такой, при котором максимальная температура в любой точке ткани не превышает 42°C. Этот критерий можно использовать при условии длительности излучения более  $10^{-5}$  с. За такой промежуток времени выделившееся

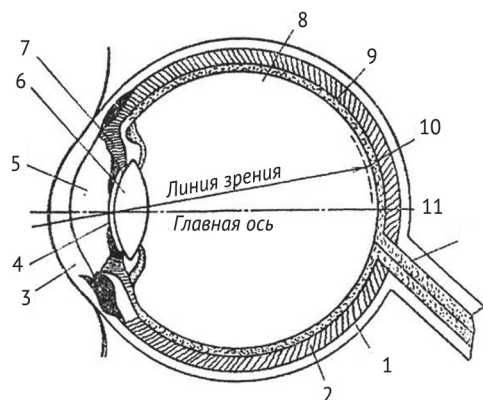
тепло успевает перераспределиться в ткани. При коротких импульсах (например, при действии лазера с модулированной добротностью) среднее повышение температуры невелико. Например, при действии на сетчатку глаза импульса ЛИ плотностью 0,07 Дж/см<sup>2</sup> и длительностью  $3 \cdot 10^{-8}$  с уже наблюдается ее поражение, хотя повышение температуры сетчатки составляет всего 5°C, т.е. при действии на сетчатку излучения лазера с модулированной добротностью тепловая модель поражения не применима. При действии ЛИ на сетчатку оно поглощается гранулами меланина, имеющими размер порядка 1 мкм. Температура гранул меланина может повышаться до больших значений, в том числе и превышающих 100°C. Повышение этого уровня приводит к парообразованию на поверхности гранул, появлению ударных волн, резкому повышению давления внутри клетки и ее механическому разрушению. Таким образом, возникает процесс *физического усиления действия поглощенного тепла в связи с изменением агрегатного состояния тканевой воды*. Тепловая модель поражения сетчатки полностью соответствует наблюдаемой картине при близких к пороговым уровням облученности (экспозиции).

При больших уровнях экспозиции и при работе лазеров с длительностью импульсов менее  $10^{-8}$  с наблюдается *ударное действие ЛИ*. Механизмы возникновения ударного эффекта различны: изменение агрегатного состояния тканевой воды, тепловое расширение без изменения агрегатного состояния, явление отдачи при испарении вещества с поверхности облучаемой ткани. В результате этих явлений в ткани резко повышается давление, которое распространяется сначала со сверхзвуковой скоростью, имея характер ударной волны, затем постепенно замедляется [45, 48].

### *1.2. Влияние лазерного излучения на орган зрения*

При работе с ЛИЗ непосредственному воздействию ЛИ могут подвергаться глаза и открытые кожные покровы пользователей. Специфические особенности органа зрения определяют особую чувствительность глаз к действию ЛИ.

Локализация и степень выраженности патологических изменений в различных структурах глаза при их поражении прямым или зеркально отраженным лазерным пучком в значительной мере зависят от конкретных физических характеристик действующего ЛИ: длины волны  $\lambda$  (нм, мкм), мощности  $P$  (Вт, мВт), энергии  $Q$  (Дж, мДж), режима генерации (импульсный или непрерывный) и т.д., а также от степени фокусировки лазерного пучка тканями органа зрения. Известно, что до 80% энергии ЛИ в видимом диапазоне и около 40% энергии ближнего инфракрасного ЛИ (БИК ЛИ) проходит, не поглощаясь, через элементы

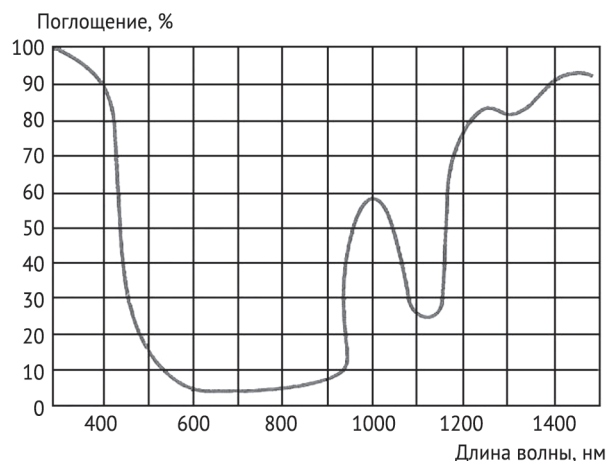


**Рис. 17.** Строение глаза [51]  
1 – склера; 2 – сосудистая оболочка; 3 – роговица; 4 – зрачок; 5 – передняя камера глаза; 6 – хрусталик; 7 – радужка; 8 – стекловидное тело; 9 – сетчатая оболочка (сетчатка); 10 – желтое пятно; 11 – зрительный нерв

оптической системы (ОС) глаза (роговицу, переднюю камеру, хрусталик, стекловидное тело) (рис. 17–19). ЛИ достигает глазного дна, при этом за счет фокусировки значение плотности мощности (энергии) ЛИ, попадающего на сетчатку, значительно возрастает.

На рис. 18, 19 представлены кривые поглощения (рис. 18) и пропускания (рис. 19) светового излучения различных длин волн в ОС глаза и видно, что в диапазоне длины волны от 400 до 1200 нм оно поглощается в минимальной степени (пропускается в максимальной степени), следовательно, вероятность повреждения ОС невелика. Однако она резко возрастает при воздействии излучения с длиной волны менее 400 и более 1200 нм, т.е. в ультрафиолетовой (УФ) и инфракрасной (ИК) частях спектра, для которых оптические среды непрозрачны. Наоборот, для тканей глазного дна эти излучения не представляют существенной опасности, так как они не достигают его. Из рис. 19 (кривая 2) также следует, что наибольшую опасность для сетчатки представляют «зеленое» излучение аргонового газового лазера ( $\lambda = 514,5$  нм) и «зеленое» излучение второй гармоники ( $\lambda = 532$  нм) твердотельного Nd:YVO<sub>4</sub> лазера ( $\lambda = 1064$  нм), а также лазера на основе стекла, легированного неодимом ( $\lambda = 1064$  нм).

В случае воздействия на глаз высокоэнергетических импульсных лазеров обширная патология может обнаружиться во всех областях глаза, вплоть до его полного разрушения. Попадание в орган зрения лазерного пучка достаточной интенсивности, с длиной волны в видимой или ближней ИК области спектра, сопровождается внезапным выпадением части поля зрения без каких-либо болевых ощущений. Пострадавшие отмечают лишь ощущение толчка, удара в глаз. На глазном дне обнаруживается ожог и отек сетчатки, кровоизлияния в сетчатку и стекловидное тело; на месте ожога, преимущественно в макуляр-



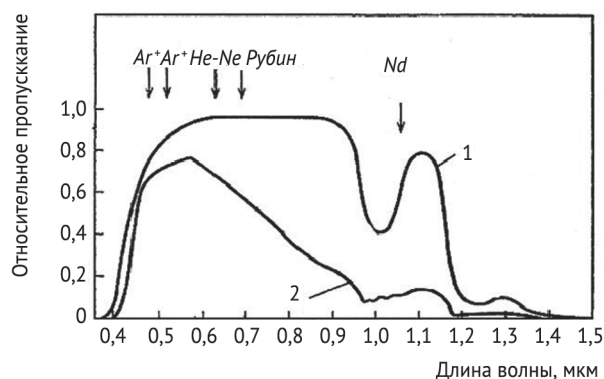
**Рис. 18.** Кривая поглощения светового излучения в ОС глаза [50]

ной или парамакулярной области, образуется серобелый рубец.

Лазерное излучение в УФ и дальней ИК части спектра поглощается в основном поверхностными элементами оптической системы: роговицей, хрусталиком, стекловидным телом. Поэтому лазеры, работающие в УФ-диапазоне, могут вызвать очень болезненные ожоги роговицы, сходные с ожогами, наблюдающимися при дуговой сварке [52].

Излучение в дальнем ИК-диапазоне представляет опасность для роговицы глаза, в которой могут возникать очаги помутнений из-за денатурации белков. Помутнения роговицы, вызванные воздействием маломощных излучений, исчезают через несколько дней. С возрастанием мощности ЛИ и времени его экспозиции развиваются более тяжелые поражения с образованием кратеров и обугливанием роговицы.

Различают три основные группы механизмов повреждающего действия ЛИ на орган зрения: фотохимические, термические, фотомеханические.



**Рис. 19.** Кривые пропускания светового излучения средами глаза [36]: 1 – кривая пропускания ОС глаза; 2 – совокупная кривая пропускания светового излучения с учетом поглощения в сетчатке

*Фотохимические механизмы* в основном определяют действие лазерной радиации в УФ и видимой области спектра, фотоны которой обладают достаточно высокой энергией для перевода атомов в возбужденное состояние. Высокая плотность излучения приводит к появлению поражающих эффектов. Пусковым моментом при этом выступают изменения в пигментном эпителии, так как он претерпевает патологические изменения раньше, чем они проявляются в рецепторах. В первую очередь страдает меланин, который является источником свободных радикалов. Меланин имеет максимум абсорбции в области 440 нм, которая играет основную роль в фотохимическом повреждении сетчатки.

*Термический механизм* повреждения органа зрения лазерным излучением наиболее характерен для видимой и ИК областей спектра при длительности воздействия от 1 мс до 10 с. При достаточно высокой плотности мощности ЛИ выделяющаяся в очаге облучения теплота вызывает коагуляцию белков, что клинически проявляется в виде ожога ткани. Коагуляция наступает при температуре +58°C; при достижении температуры +100°C происходят вскипание содержащейся в ткани воды и парообразование в очаге ожога.

*Фотомеханические повреждения* возникают, когда в очаге лазерного воздействия достигается температура кипения воды, в результате которого происходит механический разрыв ткани расширяющимся парогазовым пузырьком. Роль механического фактора в механизмах повреждающего действия ЛИ возрастает по мере роста мощности и сокращения длительности воздействия до 1 мс и менее.

У лиц, длительно работающих с лазерами и подвергающихся преимущественно воздействию не прямого, а диффузно отраженного и рассеянного ЛИ, могут наблюдаться различные функциональные и органические сдвиги в органе зрения. Люди жалуются на чувство утомления глаз к концу рабочего дня, сопровождающееся в ряде случаев жжением, тупыми или режущими болями в глазных яблоках, ощущением «непереносимости яркого света», слезотечением или значительной сухостью в глазах («как будто песок насыпан»), ощущением жара и тяжести в веках [52]. Острота зрения, как правило, не меняется, но могут отмечаться повышение порога цветоразличения, темновой адаптации, сужение границ периферического и хроматического зрения.

### 1.3. Влияние ЛИ на кожу

Эффект воздействия ЛИ на кожные покровы определяется, с одной стороны, параметрами излучения лазера, а с другой — степенью пигментации кожи и состоянием ее кровообращения. Слабо пигментированная кожа обладает большей отражающей способ-

ностью, особенно в области видимого и ближнего ИК-диапазона, однако отсутствие достаточно выраженной пигментации создает условия для более глубокого проникновения ЛИ в кожу и подкожную ткань.

Поражения кожи человека прямым или зеркально-отраженным лазерным пучком могут носить разнообразный характер в строгой зависимости от параметров действующего ЛИ. В наиболее тяжелых случаях возможны развитие ожогов, напоминающих электрокоагуляционные ожоги при поражении молнией или электротоком, полное разрушение и разрывы кожных покровов. В более легких случаях лазерные поражения кожи ограничиваются либо легким шелушением, слабой эритемой, либо функциональными сдвигами в активности внутрикожных ферментов, изменением электрической активности кожи.

### 1.4. Влияние ЛИ на состояние здоровья человека

Нарушения в состоянии здоровья работающих с лазерами, обусловленные лазерным излучением, не ограничиваются изменениями со стороны органов зрения и кожных покровов. Результаты проводившихся под руководством Ю. П. Пальцева многолетних наблюдений за состоянием здоровья больших групп работников (более 1000 человек), обслуживающих различные типы лазерных установок, позволяют утверждать, что длительное хроническое воздействие сравнительно малоинтенсивного рассеянного ЛИ оказывает негативное влияние на организм работающих в целом, приводя к различным функциональным расстройствам и патологическим сдвигам со стороны не только органа зрения, но и ряда других органов и систем организма, в первую очередь, нервной и сердечно-сосудистой [52].

К наиболее характерным клиническим синдромам, обнаруживаемым у работающих с лазерами с существенно большей частотой, чем в адекватных контрольных группах, относят астенический и астено-вегетативный синдромы, а также вегетативно-сосудистую дисфункцию [53, 54]. Для работающих с лазерами типичны жалобы на повышенную утомляемость, общую слабость, ощущение разбитости, вялости, особенно к концу рабочего дня. Отдельные лица отмечают, что работа с лазерами вызывает у них повышенную чувствительность к яркому свету, резким звукам и другим раздражителям. Среди других субъективных расстройств следует отметить нарушения ритма сна, наличие тупых головных болей и неприятных ощущений в области сердца. Судя по характеру предъявляемых жалоб, большинство из них обусловлено либо функциональными расстройствами в деятельности центральной нервной системы, либо сосудистой дистонией.

Достоверное различие в количестве лиц с субъективными расстройствами было отмечено в промыш-

ленных условиях, когда уровень рассеянного ЛИ от неодимовых лазеров ( $\lambda = 1064$  нм) на рабочих местах персонала при контрольных измерениях отличался более чем в 2 раза, составляя, соответственно,  $3 \cdot 10^{-5}$  и  $7 \cdot 10^{-5}$  Дж/см<sup>2</sup>. Если на первом производстве ухудшение самочувствия отмечено лишь у 29% обследованных, то на втором их было более 77%. Подобная зависимость частоты и выраженности субъективных расстройств от длительности работы с лазерами и от интенсивности ЛИ на рабочих местах выявлена рядом исследователей, например в [33, 56].

## 2. Система лазерной безопасности

### 2.1 Нормирование лазерного излучения и правовая коллизия в нормативной базе системы лазерной безопасности в России и странах ЕвразЭС

Итогом медико-биологических исследований стала разработка в России и за рубежом серии нормативных документов (НД) по безопасному применению лазеров, т.е. по лазерной безопасности (ЛБ). Базовым нормативно-правовым документом любой системы ЛБ является НД, регламентирующий предельно допустимый уровень (ПДУ) лазерного излучения. В США значения ПДУ регламентировались в санитарно-гигиеническом (СГ) НД организации ACGIH [2] и в техническом стандарте ANSI Z 136.1-1973 «American National Standard for the safe Use of Lasers». В настоящее время в США действует усовершенствованная редакция этого стандарта ANSI Z 136.1-2007 «Safe Use of Lasers / Note: revision of ANSI Z 136.1-2000\* Approved 2007-03-06» (далее ANSI Z 136.1). Это стандарт главный в американской серии по ЛБ, включающей 6 стандартов Американского национального института стандартов — ANSI Z 136.1-ANSI Z 136.6. В области ЛБ в США действуют СГ НД агентства по радиационной безопасности CDRH, имеющие условные обозначения 21 CFR (части 1040.10 и 1040.11). Значения ПДУ, регламентированные в ANSI Z 136.1 (1973, 2007 г.) и в CDRH 21 CFR, полностью идентичны.

В настоящее время действует стандарт Международной электротехнической комиссии (МЭК, IEC) IEC 60825-1:2013 «Safety of laser products — Part 1: Equipment classification and requirements» (далее IEC-1), в котором регламентированы значения ПДУ, полностью идентичные американским (1973, 2007 гг.). Этот стандарт возглавляет серию стандартов IEC 60825 «Safety of laser products» — комплект из 10 отдельных частей стандарта IEC 60825. Перечни американских и международных стандартов МЭК по ЛБ опубликованы в журнале «Безопасность в техносфере» (2013 г., № 3) [57].

В России первые ПДУ были установлены в 1972 г. в СГ НД «Временные санитарные правила при работе с оптическими квантовыми генераторами». В 1981 г.

они заменены на «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» № 2392 — 81. В 1991 г. в России, а позднее и в некоторых странах СНГ, были приняты научно обоснованные ПДУ, более жесткие, чем в ANSI Z 136 и IEC 60825-1. Эти ПДУ установлены в нормативном документе СН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» (далее СН).

Сравнительно недавно был введен в действие единый межгосударственный СГ НД Таможенного союза, устанавливающий общие требования безопасности для различных видов продукции на территории ТС: «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) на таможенной границе и таможенной территории Таможенного союза» (Приняты Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299) (далее ЕСГТ-2010). В Главе 7 ЕСГТ-2010 регламентированы значения ПДУ ЛИ, полностью идентичные установленным в СН.

С 1991 г. существует правовая коллизия в области лазерной безопасности, заключающаяся в значительном расхождении базовых нормативов по ЛБ, используемых, с одной стороны, в РФ, СНГ, ТС, а с другой — в США и странах, принявших за основу своих стандартов по ЛБ стандарт IEC-1.

СССР, где практически одновременно с США был изобретен лазер, не имел в 1970-х годах отдельного общесоюзного нормативного технического документа по ЛБ, хотя активные работы по изучению биологического действия ЛИ советские специалисты начали практически одновременно с американцами. Исторически сложилось так, что только США и СССР в конце 1960-х годов при мощной поддержке государственных оборонных ведомств смогли начать комплексные работы по изучению БД ЛИ. Возникла потребность в нормативном регулировании правил ЛБ на оборонных предприятиях, выпускающих и испытывающих (в том числе в условиях полигонов) мощную лазерную технику (см. часть 1). Так возникла нормативная база ЛБ, имевшая в СССР в 1970-е годы статус НД *ограниченного доступа*. Страны Европы подключились к решению проблемы ЛБ в рамках МЭК значительно позже и предпочли не «изобретать велосипед» в части самостоятельной разработки ПДУ ЛИ, а принять участие в формировании НБ в области ЛБ под руководством США и СССР. Промышленно развитые страны Европы выбрали для базового стандарта МЭК по ЛБ нормативную базу США, хотя советский госстандарт предлагал и обосновывал комитету МЭК № 76 *более жесткие нормативы по ЛБ* для включения в базовый стандарт МЭК.

В 1970-х годах США первыми стали заниматься вопросами обеспечения ЛБ в гражданской сфере и вы-

пустили стандарт ANSI Z 136.1. В нашей стране сугубо «гражданский» стандарт ГОСТ 12.1.040–83 ССБТ «Лазерная безопасность. Общие положения» (далее ГОСТ-1) появился на 10 лет позже. Стандарт был разработан в ВЦНИИ охраны труда ВЦСПС при участии Б.Н. Рахманова. Предполагалось, что стандарт возглавит серию стандартов ГОСТ ССБТ «Лазерная безопасность» по аналогии с серией стандартов IEC 825 «Radiation safety of laser products» («Безопасность излучений лазерной продукции»), которая появилась на Западе, а позднее преобразовалась в громоздкую серию IEC 60825 «Safety of laser products».

Рассмотрим подробнее причины расхождений в принципах нормирования ПДУ, существующих в РФ и на Западе. Исторические аспекты и научные основы разработки ПДУ ЛИ в нашей стране и за рубежом довольно подробно изложены в [58, 59]. Рассматривая основные методы и принципы нормирования, основанные на результатах многочисленных медико-биологических исследований по БД ЛИ, автор [59] пишет следующее: «Мерой лучевой стойкости тканей глазного дна к излучению с заданным спектральным составом и длительностью экспозиции принято считать минимальное значение энергии излучения  $W$  (Дж) (мощности  $P$  (Вт)), вызывающей первичное необратимое наблюдаемое офтальмоскопически изменение структуры пигментного эпителия с вероятностью 50% через 1 час после облучения. Эти значения называются пороговыми и далее обозначаются  $P_{th}$  (th от английского threshold — порог). ...В основу американского стандарта положены результаты измерений на животных ...при воздействии направленных потоков лазерного излучения на глаза.

На основании этих данных определена зависимость предельно допустимого уровня (Exposure Limits) от  $t$ ,  $\lambda$  облучения человека направленным потоком лазерного излучения  $P_{EL}(t, \lambda)$  по формуле  $P_{EL} = P_{th}/k$ , где  $k$  — коэффициент гигиенического запаса (hygienic coefficient), который формировался на основе экспертных оценок с учетом ряда факторов (погрешность измерений, несовершенство экспериментальной методики определения порога фотоповреждения тканей на основе визуальной фиксации, перенос на человека результатов эксперимента на животных и др.). Полученные зависимости  $P_{EL}(t, \lambda)$  для удобства пользователей аппроксимировались простыми функциями таким образом, чтобы коэффициент запаса был равен или больше значения данной экспертной оценкой. Минимальное значение  $k$  в действующих американском и европейском стандартах по лазерной безопасности имеет порядок 10. ...Было бы абсолютно несправедливым утверждать, что обсуждаемые нормативы основаны на простой аппроксимации экспериментальных данных на животных. Механиз-

мы деструктивного действия лазерного излучения активно изучались и были предметом дискуссий на многих представительных международных форумах. ...Наиболее полными и цитируемыми до настоящего времени являются, по-видимому, работы школы профессора Бирнгрубера (Германия). Указанные работы использовали упрощенные модели (что естественно для пионерных исследований), в частности, не учитывались такие факторы, как наличие кровотока в сосудистой оболочке, гранулированность структуры пигментного эпителия и некоторые другие.

В 1980-е годы советские специалисты, опираясь на методологию западных исследователей БД ЛИ и используя результаты собственных многочисленных экспериментов на животных, применили более *современные физико-биологические модели поражения сетчатки глаза человека и более точные модели переноса результатов эксперимента с животных на человека, свободные от недостатков, имевшихся в подходах западных ученых в 1970-е годы* [60–67]. Иными словами, к концу 1980-х в СССР были получены передовые по тем временам результаты по установлению ПДУ ЛИ, которые оказались *объективно жестче западных нормативов*.

С 2009 г. ситуация международной правовой коллизии в области ЛБ переместилась непосредственно на территорию РФ, СНГ и стран ЕврАзЭС и ТС, поскольку без надлежащих консультаций со специалистами в области ЛБ и обеспечения безопасности жизнедеятельности были утверждены для прямого применения на территории РФ первые четыре стандарта серии ГОСТ Р МЭК 60825, в том числе стандарт ГОСТ Р МЭК 60825-1–2009 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для потребителей» (далее ГОСТ Р МЭК-1). Эти стандарты представляют собой крайне неудачно переведенную российскую версию стандартов МЭК серии IEC 60825 (части 1, 2, 9, 12).

В сентябре 2013 г. на территории РФ были введены в действие национальные стандарты ГОСТ Р МЭК 60825-4, ГОСТ Р 54836; ГОСТ Р 5438–ГОСТ Р 54841, идентичные остальным семи стандартам серии IEC 60825 (части 3, 4, 5, 8, 10, 13, 14).

В ноябре 2013 г. приказами Росстандарта установлено, что с 01.07.2014 г. на территории РФ вводятся в действие первые четыре переведенные на русский язык стандарта МЭК *межгосударственного ранга*, т.е. действующие одновременно на территориях стран — членов СНГ, которые проголосовали за их принятие (Республика Беларусь не голосовала за принятие этих стандартов). В табл. 1 приведены наименования этих стандартов серии ГОСТ IEC 60825, а также наименования исходных стандартов IEC.

В табл. 2 приведены сравнительные значения ПДУ для непрерывного ЛИ с длиной волны  $\lambda = 532$  нм,

Межгосударственные стандарты СНГ по ЛБ, идентичные стандартам МЭК

Межгосударственный стандарт серии ГОСТ IEC 60825	Международный стандарт серии IEC 60825
ГОСТ IEC 60825-1-2013. Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей (IEC 60825-1:2007, IDT) (далее расчетные и инструментальные методы оценки степени опасности лазерного излучения на рабочих местах и на открытых пространствах) (далее ГОСТ IEC-1)	IEC 60825-1:2007. Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements
ГОСТ IEC 60825-2 – 2013. Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи (IEC 60825 – 2:2007, IDT) (далее ГОСТ IEC-2)	IEC 60825-2:2007. Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fiber communication systems (OFCS)
ГОСТ IEC/TR 60825-9-2013. Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 9. Компиляция максимально допустимой экспозиции некогерентного оптического излучения (IEC/TR 60825 – 9:1999, IDT) (далее ГОСТ IEC-9)	IEC/TR 60825-9:1999. Safety of laser products – Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation
ГОСТ IEC 60825-12-2013. Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 12. Безопасность систем оптической связи в свободном пространстве, используемых для передачи информации (IEC 60825 – 12:2004, IDT) (далее ГОСТ IEC-12)	IEC 60825 – 12:2004. Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information

регламентированные в стандартах ANSI Z 136.1 и IEC 60825-1, ГОСТ Р МЭК-1, ГОСТ IEC-1, а также в СГ НД, действующих сегодня в РФ, ЕврАзЭС и ТС. (В стандартах США и МЭК ПДУ определяются термином «Maximum permissible exposure, MPE».)

Как видно из табл. 2, значения ПДУ для  $\lambda = 532$  нм,  $t_B = 0,25$  с, действующие на территории ТС, на порядок меньше значений, регламентируемых в стандартах ANSI Z 136.1, IEC 60825-1, ГОСТ Р МЭК-1. Это наглядный пример допущенной в 2009 г. правовой коллизии, ведущей к значительным отрицательным последствиям при использовании нормативов ГОСТ Р МЭК-1. Например, это приводит к недопустимому занижению (в 3,2 раза) размеров лазерно-опасных зон (ЛОЗ) или к недопустимому занижению на порядок коэффициента ослабления ЛИ, требуемого для средств индивидуальной защиты глаз от лазерного излучения.

*Отечественные ПДУ в настоящее время действительно наиболее передовые, и нормативный документ СН 5804-91 не только не теряет свою актуальность, но и становится более важным в связи с расширением сфер применения ЛИЗ, работающих на открытых пространствах (см. раздел 1).*

Сущность основного противоречия между отечественной и западными НБ ЛБ можно сформулировать следующим образом. Значения ПДУ, принятые сегодня в РФ, СНГ и ТС, в десять раз меньше (т.е. в 10 раз жестче) значений МРЕ, установленных в наиболее чувствительной для глаза области спектра 380–600 нм при однократном воздействии лазерного излучения на глаз человека в течение среднего времени защитного мигательного рефлекса 0,25 с.

На рис. 20 показана зависимость коэффициента несоответствия  $k_{\text{МРЕ/ПДУ}} = P_{\text{МРЕ}}/P_{\text{ПДУ}}$  от длины волны  $\lambda$  для непрерывного лазерного излучения, генерируемого в спектральном диапазоне 380–1400 нм, при однократном воздействии на глаз человека.

Следует пояснить, что для спектрального интервала 750–1400 нм применяется значение  $t_B = 10$  с, поскольку ЛИ в этом интервале невидимо глазом и защитный мигательный рефлекс отсутствует.

Коэффициент  $k_{\text{МРЕ/ПДУ}}$  показывает, во сколько раз больше надежность безопасности глаз человека, которую обеспечивает отечественная система нормирования лазерного излучения по сравнению с западной системой ЛБ.

Таблица 2

Значения нормативов безопасности лазерного излучения для длины волны 532 нм при воздействии на глаза излучения с длительностью воздействия  $t_B = 0,25$  с

Maximum permissible exposure, MPE (ANSI Z 136.1, IEC 60825-1, ГОСТ Р МЭК-1, ГОСТ IEC-1)		Предельно допустимый уровень лазерного излучения, ПДУ (ЕСГТ – 10, СН 5804 – 91; СанПиН 2.2.4.13-2-2006*)	
Формула для расчета $H_{\text{МРЕ}}$	Сравниваемое значение МРЕ	Формула для расчета $W_{\text{ПДУ}}$	Сравниваемое значение ПДУ
$H_{\text{МРЕ}} = 18t^{0,75}$ Дж/м <sup>2</sup> откуда $P_{\text{МРЕ}} \approx 1,0$ мВт	$P_{\text{МРЕ}} = 1,0$ мВт	$W_{\text{ПДУ}} = 5,9 \cdot 10^{-5} \sqrt[3]{t^2}$ откуда $P_{\text{ПДУ}} \approx 0,1$ мВт	$P_{\text{ПДУ}} = 0,1$ мВт

*Примечание.* На территории Республики Беларусь в настоящее время действуют СанПиН 2.2.4.13-2-2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий». Этот НД более современный и удобный для применения белорусский аналог российских СН 5804-91.

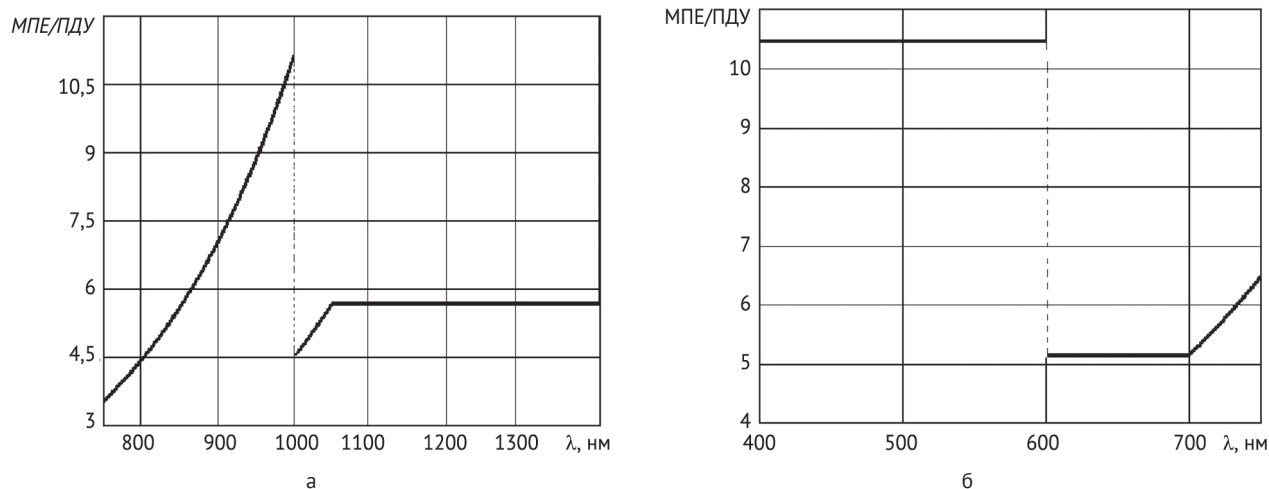


Рис. 20. Зависимость  $k_{MPE/PDU} = P_{MPE}/P_{PDU}$  от длины волны лазерного излучения:  
а – спектральный интервал 380–750 нм,  $t_B = 0,25$  с; б – спектральный интервал 750–1400 нм,  $t_B = 10$  с)

Существует еще одно принципиальное отличие западной и отечественной НБ ЛБ. Речь идет об учете в отечественной НБ ЛБ «хронического действия ЛИ», которое разработчики западной системы ЛБ не приняли во внимание при нормировании ПДУ ЛИ. Учет «хроники» важен не только для персонала, длительно работающего с ЛИ, но и для условий применения видов ЛИЗ, которые обладают повышенной вероятностью облучения лазерными пучками не только специально обученных пользователей ЛИЗ, но и от-

дельных групп неподготовленного населения. Для них по действующему законодательству следует применять ПДУ<sub>ХР</sub> по хроническому действию, т.е. ПДУ ЛИ, имеющие в 10 раз меньшие значения, чем ПДУ по однократному воздействию, и в 100 раз меньшие значения, чем МРЕ по однократному воздействию. Требования к нормированию хронического воздействия ЛИ, как и к нормированию ПДУ для населения, в западных системах ЛБ отсутствуют.

(Продолжение следует)

## ЛИТЕРАТУРА

27. Zaret M.M., Breinen G.M., Schmidt H., Ripps H., Siegel I.M., Solon L.R. Ocular lesions produced by an optical maser (laser) // Science. — 1961, No 134. — P. 1525–1526.
28. Vos J.J. A theory of retinal burns // Bull. Math. Biol. — 1962, No 24. — P. 115–128.
29. Campbell C.J., Ritter M.C., Koester C.J. The optical maser as a retinal coagulator: an evaluation. // Trans. Amer. Acad. Opth. Otol. — 1963, No 67. — P. 58–67.
30. Ham W.T.-Jr., Williams R.C., Mueller H.A., Ruffin R.S., et al. Effects of laser radiation on the mammalian eye // Trans. N.-Y. Acad. Sciences, ser. II, 1966, V. 28, No 5. — P. 517–526.
31. Леонов Б.В., Шиходыров В.В. Лазеры и клетка. — М.: Знание, 1966.
32. Файн С., Клейн Э. Биологическое действие излучения лазера / Пер. с англ. — М.: Атомиздат, 1968.
33. Петров И.Р., Бутман А.Б., Жохов В.П. и др. Излучение лазеров. Защита от их неблагоприятного действия. — Л.: Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1969.
34. Гамалея Н.Ф. Лазеры в эксперименте и клинике. — М.: Медицина, 1972.
35. Sliney D.H., Freasier B.C. Evaluation of optical Hazards // Appl. Opt. — 1973, V. 12, № 1. — P. 1–24.
36. Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения. — М.: Мир, 1974.
37. Лазерное излучение / Под общ. ред. В. Я. Гранкина. — М.: Воениздат, 1977.
38. Ковач Р.И. Термические эффекты в моделях тканей глазного дна при воздействии интенсивных источников света // Зарубежная радиоэлектроника. — 1977, Вып. 9. — С. 81–96.
39. Желтов Г.И., Кондрашов Н.Г., Рубанов А.С., Линник Л.А. Термические эффекты при воздействии лазерного излучения на ткани глазного дна // Квантовая электроника. — 1979. — Т. 6, № 6. — С. 1296–1303.
40. Пальцев Ю.П., Кармолин А.Л. Задачи гигиены труда в связи с развитием квантовой радиофизики // Клинико-гигиенические проблемы в связи с развитием квантовой электроники. — М.: МНИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 1982. — С. 7–21.
41. Кириллов А.И., Морсков В.Ф., Устинов Н.Д. Дозиметрия лазерного излучения / Под ред. Н.Д. Устинова. — М.: Радио и связь, 1983.
42. Глазков В.Н., Желтов Г.И., Подольцев А.С. и др. Термохимические процессы при воздействии монохроматического излучения на ткани глазного дна. — Минск: Институт физики АН БССР, 1984. (препринт № 329).



43. Подольцев А.С., Желтов Г.И. Тепловое воздействие лазерного излучения на многослойные ткани глаза // ЖПС. — 1984. — Т. 40, № 2. — С. 207–211.
44. Преображенский П.В., Шостак В.И., Балашевич. Световые повреждения глаз. — Л.: Медицина. Ленинградское отделение, 1986.
45. Docchio F., Dossi L., Sacchi C. A. Q-switched Nd:YAG laser irradiation of the eye and related phenomena; and experimental study// Lasers in the Life Sciences. — 1986. — V. 1, No 2. — P. 87–124.
46. Жаров В.П., Зубов Б.В., Лоцилов В.И. и др. Исследование оптических и теплофизических свойств биоткани методом импульсной фототермической радиометрии. — М.: Институт общей физики АН СССР, 1987. (препринт № 146).
47. Степанов А. Г., Сабарно Р. В. Техника безопасности при эксплуатации лазерных установок. — Киев: Тэхника, 1989.
48. Желтов Г.И., Глазков В.Н., Кирковский А.И. и др. Механизмы воздействия импульсного лазерного излучения на ткани глазного дна. — Минск: ИФАН БССР, 1989.
49. Пальцев Ю.П., Желтов Г.И., Комарова А. А. Биологические эффекты и критерии оценки опасности лазерного излучения // Вестник академии медицинских наук. — 1992. — С. 7–21.
50. Пальцев Ю.П. Эффекты воздействия лазерного излучения // Воздействие на организм человека опасных и вредных производственных факторов. Медико-биологические и метрологические аспекты. Справочник в 2-х томах. Кол. авт. — Т. 1. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. С. 170–189.
51. Рахманов Б.Н., Чистов Е.Д. Безопасность при эксплуатации лазерных установок. — М.: Машиностроение, 1981.
52. Жохов В.П., Комарова А.А., Максимова Л.И., Пальцев Ю.П. и др. Гигиена труда и профилактика профессиональной патологии при работе с лазерами. — М.: Медицина, 1980.
53. Суворов И.М., Добрынина В.В., Ушкова И.Н. и др. Влияние излучения лазеров на организм человека // Врачебное дело. — 1981, № 9. — С. 10–15.
54. Ушкова И.Н., Покровская Л.А., Суворов И.М. Состояние гемодинамики при действии лазерного излучения // Гигиена труда и профессиональные заболевания. 1982, № 7. С. 44–45.
55. Комарова А.А., Маркова Т.Ф. Клинико-физиологическая характеристика состояния нервной системы у лиц, обслуживающих оптические квантовые генераторы // Гигиена труда и профессиональные заболевания. — 1975, № 8. — С. 8–12.
56. Мускантиньев В.В. К вопросу о состоянии нервной системы у работающих с оптическими квантовыми генераторами // Тезисы докладов 30-й отечественной научной конференции аспирантов и клинических ординаторов. — Л.: 1970. — С. 100–102.
57. Рахманов Б.Н., Кибовский В.Т. Нормативное и правовое регулирование безопасного применения лазерной техники // Безопасность в техносфере. — 2013, № 3. — С. 60–69. DOI: 10.12737/454.
58. Желтов Г.И. О нормативных документах по лазерной безопасности // Как это было... Воспоминания создателей отечественной лазерной техники. Часть 1. ЛАС. — М.: Изд-во ФИАН, 2006. — С. 347–350.
59. Желтов Г.И. Проблемы безопасности при работе с лазерами. Глава 2 // Вопросы лазерной офтальмологии / ФГБУ Научно-исследовательский институт глазных болезней РАМН. — М.: Астрель, 2013. — С. 15–31.
60. Березин Ю.Д., Гончарук Э.Н., Жохов В.П. и др. Определение предельно допустимого уровня излучения моноимпульсного ИК лазера с точки зрения безопасности и промышленной санитарии // Квантовая электроника. — 1976. — Т. 3, № 9. — С. 2080–2083.
61. Семенов А. И. Влияние излучения лазеров на организм и меры профилактики // Гигиена труда и профессиональные заболевания. — 1976, № 8. — С. 1–6.
62. Орлов В.А. Лазеры в военной технике. — М.: Воениздат, 1976.
63. Березин Ю.Д., Гудаковский Ю.П., Комягин К.Г. и др. О зависимости предельно допустимых уровней импульсного излучения от длительности импульса // Импульсная фотометрия. Вып. 5. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1978. — С. 37–41.
64. Кармолин А.Л., Пальцев Ю.П. Гигиеническое нормирование лазерного излучения // Гигиенические аспекты использования лазерного излучения в народном хозяйстве. — М.: МНИИ Гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 1982. — С. 92–96.
65. Шицкова А.П., Пальцев Ю.П. Итоги и перспективы гигиенических исследований при использовании лазеров // Гигиенические аспекты использования лазерного излучения в народном хозяйстве. — М.: МНИИ Гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, 1982. — С. 16–20.
66. Березин Ю.Д., Борткевич А.В., Котов А.М. и др. Предельно допустимые уровни (ПДУ) для лазерного излучения с длиной волны 0,63 мкм // Гигиенические аспекты использования лазерного излучения в народном хозяйстве. — М.: МНИИ Гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, 1982. — С. 97–99.
67. Глазков В.Н., Желтов Г.И., Мешков Г.Г. и др. Термодинамическая модель расчета ПДУ облучения сетчатки в ближнем ИК диапазоне // Квантовая электроника. — 1983. — Т. 10, № 7. — С. 1684–1685.

## REFERENCES

27. Zaret M.M., Breinen G.M., Schmidt H., Ripps H., Siegel I.M., Solon L.R. Ocular lesions produced by an optical maser (laser). Science. 1961. № 134. P. 1525–1526.
28. Vos J.J. A theory of retinal burns. Bull. Math. Biol. 1962, № 24. P. 115–128.

29. Campbell C. J., Ritter M. C., Koester C. J. The optical maser as a retinal coagulator: an evaluation. *Trans. Amer. Acad. Opth. Otol.* 1963, № 67. P. 58–67.
30. Ham W.T.-Jr., Williams R.C., Mueller H.A., Ruffin R.S., et al. Effects of laser radiation on the mammalian eye. *Trans. N.-Y. Acad. Sciences, ser. II*, 1966, v.28, № 5. P. 517–526.
31. Leonov B.V., Shikhodyrov V.V. *Lazery i kletka* [Lasers and hutch]. Moscow, Znanie Publ., 1966.
32. Fayn S., Kleyn E. *Biologicheskoe deystvie izlucheniya lazera* [Biological effects of laser]. Moscow, Atomizdat Publ., 1968.
33. Petrov I.R., Butman A.B., Zhokhov V.P. *Izluchenie lazerov. Zashchita ot ikh neblagopriyatnogo deystviya* [Radiation from lasers. Protection against their adverse action]. Leningrad, Leningrad House of Scientific and Technical Propaganda Publ., 1969.
34. Gamaleyа N.F. *Lazery v eksperimente i klinike* [Lasers in experimental and clinical]. Moscow, Meditsina Publ., 1972.
35. Sliney D.H., Freasier B.C. Evaluation of optical Hazards. *Appl. Opt.* 1973, v. 12, № 1. P. 1–24.
36. Redi Dzh. *Deystvie moshchnogo lazernogo izlucheniya* [Powerful laser radiation]. Moscow, Mir Publ., 1974.
37. Grankin V.Ya. *Lazernoe izluchenie* [The laser light]. Moscow, Voenizdat Publ., 1977.
38. Kovach R.I. *Termicheskie efekty v modelyakh tkaney glaznogo dna pri vozdeystvii intensivnykh istochnikov sveta* [Thermal effects in models of fundus tissue when exposed to intense light sources]. *Zarubezhnaya radioelektronika* [Foreign electronics]. 1977, v. 9. P. 81–96.
39. Zheltov G.I., Kondrashov N.G., Rubanov A.S., Linnik L.A. *Termicheskie efekty pri vozdeystvii lazernogo izlucheniya na tkani glaznogo dna* [Thermal effects during the action of laser radiation on tissue fundus]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum Electronics]. 1979. V. 6, I 6. P. 1296–1303.
40. Pal'tsev Yu.P., Karmolin A.L. *Zadachi gigieny truda v svyazi s razvitiem kvantovoy radiofiziki* [asks health in connection with the development of quantum]. *Kliniko-gigienicheskie problemy v svyazi s razvitiem kvantovoy elektroniki* [Clinical and hygienic problems in connection with the development of quantum electronics]. Moscow, MRI of Hygiene named after F.F. Erisman Publ., 1982. P. 7–21.
41. Kirillov A.I., Morskov V.F., Ustinov N.D. *Dozimetriya lazernogo izlucheniya* [Laser radiation dosimetry]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1983.
42. Glazkov V.N., Zheltov G.I., Podol'tsev A.S. *Termokhimi-cheskie protsessy pri vozdeystvii monokhromaticheskogo izlucheniya na tkani glaznogo dna* [Thermochemical processes when exposed to monochromatic radiation on tissue fundus]. Minsk, Institute of Physics, Belorussian Academy of Sciences Publ., 1984. (preprint № 329).
43. Podol'tsev A.S., Zheltov G.I. *Teplovoe vozdeystvie lazernogo izlucheniya na mnogosloynnye tkani glaza* [Thermal effects of laser radiation on multilayer tissue of the eye]. *ZhPS* [Magazine training aircraft (helicopter) to fly], 1984, V. 40, I. 2. P. 207–211.
44. Preobrazhenskiy P.V., Shostak V.I. *Svetovye povrezhdeniya glaz* [Light damage to eyes]. Leningrad, Medicine. Leningrad Department Publ., 1986.
45. Docchio F., Dossi L., Sacchi C. A. Q-switched Nd:YAG laser irradiation of the eye and related phenomena; and experimental study. *Lasers in the Life Sciences*, 1986, V. 1, I. 2. P. 87–124.
46. Zharov V.P., Zubov B.V., Loshchilov V.I. *Issledovanie opticheskikh i teplofizicheskikh svoystv biotkani metodom impul'snoy fototermicheskoy radiometrii* [Study of the optical and thermal properties of biological tissues by pulsed photothermal radiometry]. Moscow, General Physics Institute of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1987. (preprint № 146).
47. Stepanov A.G., Sabarno R.V. *Tekhnika bezopasnosti pri ekspluatatsii lazernykh ustanovok* [Operational Safety of laser systems]. Kiev, Tekhnika Publ., 1989.
48. Zheltov G.I., Glazkov V.N., Kirkovskiy A.I. *Mekhanizmy vozdeystviya impul'snogo lazernogo izlucheniya na tkani glaznogo dna* [Mechanisms of pulsed laser radiation on tissue fundus]. Minsk, IFAN BSSR Publ., 1989.
49. Pal'tsev Yu.P., Zheltov G.I., Komarova A.A. *Biologicheskie efekty i kriterii otsenki opasnosti lazernogo izlucheniya* [The biological effects and the criteria for assessing the risk of laser radiation]. *Vestnik akademii meditsinskikh nauk* [Journal of the Academy of Medical Sciences]. 1992. P. 7–21.
50. Pal'tsev Yu.P. *Effekty vozdeystviya lazernogo izlucheniya* [The effects of laser radiation]. *Vozdeystvie na organizm cheloveka opasnykh i vrednykh proizvodstvennykh faktorov. Mediko-biologicheskie i metrologicheskije aspekty. Spravochnik v 2-kh tomakh* [he impact on the human body of dangerous and harmful factors. Biomedical and metrological aspects. Reference in 2 vols.]. V. 1, Moscow, IPK Izd-vo standartov Publ., 2004, P.170–189.
51. Rakhmanov B.N., Chistov E.D. *Bezopasnost' pri ekspluatatsii lazernykh ustanovok* [Operational Safety of laser systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981.
52. Zhokhov V.P., Komarova A.A., Maksimova L.I., Pal'tsev Yu.P. *Gigiena truda i profilaktika professional'noy patologii pri rabote s lazerami* [Occupational health and prevention of occupational diseases when working with lasers]. Moscow, Meditsina Publ., 1980.
53. Suvorov I.M., Dobrynina V.V., Ushkova I.N. *Vliyanie izlucheniya lazerov na organizm cheloveka* [Influence of laser radiation on the human body]. *Vrachebnoe delo* [Docketing]. 1981, I. 9, P. 10–15.
54. Ushkova I.N., Pokrovskaya L.A., Suvorov I.M. *Sostoyanie gemodinamiki pri deystvii lazernogo izlucheniya* [Condition hemodynamic action of laser radiation]. *Gigiena truda i professional'nye zabolevaniya* [Hygiene and occupational diseases]. 1982, I. 7, P. 44–45.
55. Komarova A.A., Markova T. F. *Kliniko-fiziologicheskaya kharakteristika sostoyaniya nervnoy sistemy u lits, obsluzhivayushchikh opticheskie kvantovye generator* [Clinical and physiological characteristic of the nervous system in

- persons serving optical quantum generators]. *Gigiena truda i professional'nye zabolevaniya* [Occupational hygiene and occupational diseases]. 1975, I. 8, P. 8–12.
56. Muskantín'ev V.V. K voprosu o sostoyanii nervnoy sistemy u rabotayushchikh s opticheskimi kvantovymi generatorami [On the state of the nervous system in working with lasers]. *Tezisy dokladov 30-y otechestvennoy nauchnoy konferentsii aspirantov i klinicheskikh ordinatorov* [Abstracts of the 30th national conference of graduate students and medical residents]. Leningrad, 1970, P. 100–102.
  57. Rakhmanov B.N., Kibovskiy V.T. Normativnoe i pravovoe regulirovanie bezopasnogo primeneniya lazernoy tekhniki [Normative and legal regulation of the safe use of laser technology]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Security in the technosphere]. 2013, I. 3, P. 60–69. DOI: 10.12737/454.
  58. Zheltov G.I. O normativnykh dokumentakh po lazernoy bezopasnosti [About regulations on laser safety]. *Kak eto bylo... Vospominaniya sozdateley otechestvennoy lazernoy tekhniki* [As it was ... Memories of the creators of the laser technology]. Part 1. LAS, FIAN Publ., 2006, P. 347–350.
  59. Zheltov G.I. Problemy bezopasnosti pri rabote s lazernymi. Glava 2 [Security issues when working with lasers. Chapter 2]. *Voprosy lazernoy oftal'mologii. FGBU Nauchno-issledovatel'skiy institut glaznykh bolezney RAMN* [Laser ophthalmology. FGBI Research Institute of Eye Diseases Medical Sciences]. Moscow, Astrel' Publ., 2013. P. 15–31.
  60. Berezin Yu.D., Goncharuk E.N., Zhokhov V.P. Opredelenie predel'no dopustimogo urovnya izlucheniya monoimpul'snogo IK lazera s tochki zreniya bezopasnosti i promyshlennoy sanitaria [Determining the maximum permissible level of radiation single-pulse infrared laser in terms of safety and industrial hygiene]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum Electronics]. 1976. V. 3, I. 9, P. 2080–2083.
  61. Semenov A.I. Vliyanie izlucheniya lazerov na organizm i mery profilaktiki [Influence of laser radiation on the body and prevention]. *Gigiena truda i professional'nye zabo-*  
*levaniya* [Occupational hygiene and occupational diseases]. 1976, I. 8, P. 1–6.
  62. Orlov V.A. *Lazery v voennoy tekhnike* [Lasers in military technology]. Moscow, Voenizdat Publ., 1976.
  63. Berezin Yu.D., Gudakovskiy Yu.P., Komyagin K.G. O zavisimosti predel'no dopustimyykh urovney impul'snogo izlucheniya ot dlitel'nosti impul'sa [Dependence of maximum permissible levels of pulsed radiation pulse duration]. *Impul'snaya fotometriya* [Pulse photometry]. I. 5. Leningrad, Mashinostroenie Publ., Leningrad Department, 1978. S. 37–41.
  64. Karmolin A.L., Pal'tsev Yu.P. Gigienicheskoe normirovanie lazernogo izlucheniya [Hygienic standardization of laser radiation]. *Gigienicheskie aspekty ispol'zovaniya lazernogo izlucheniya v narodnom khozyaystve* [Hygienic aspects of the use of laser radiation in the national economy]. Moscow, MNII Gigieny named after F.F. Erismana Publ., 1982, P. 92–96.
  65. Shitskova A.P., Pal'tsev Yu.P. Itogi i perspektivy gigienicheskikh issledovaniy pri ispol'zovanii lazerov [Results and prospects of health studies using lasers]. *Gigienicheskie aspekty ispol'zovaniya lazernogo izlucheniya v narodnom khozyaystve* [Hygienic aspects of the use of laser radiation in the national economy]. Moscow, MNII Gigieny named after F.F. Erismana, 1982, P. 16–20.
  66. Berezin Yu.D., Bortkevich A.V., Kotov A.M. Predel'no dopustimye urovni (PDU) dlya lazernogo izlucheniya s dlinoy volny 0,63 mkm [Limits (RC) for laser radiation with a wavelength of 0.63 microns]. *Gigienicheskie aspekty ispol'zovaniya lazernogo izlucheniya v narodnom khozyaystve* [Hygienic aspects of the use of laser radiation in the national economy]. Moscow, MNII Gigieny named after F.F. Erismana Publ., 1982, P. 97–99.
  67. Glazkov V.N., Zheltov G.I., Meshkov G.G. Termokhimi-cheskaya model' rascheta PDU oblucheniya setchatki v blizhnem IK diapazone [Thermochemical model for calculating the remote exposure of the retina in the near infrared range]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum Electronics]. 1983, V. 10, I. 7, P. 1684–1685

## Lasers and Safety. Yesterday, Today, Tomorrow. Part 2

**B.N. Rakhmanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University

**Yu.B. Paltsev**, Head of the Electromagnetic Emission Workgroup, Doctor of Medicine, Professor, Research Institute of Occupational Health of the Russian Academy of Medical Sciences

**V.T. Kibovskiy**, Expert, Atomtehnostest, Center of Conformance Estimation and Quality Assurance of Facilities, Products and Technologies

**V.A. Devisilov**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

*Second part of the analytical review focuses on issues of laser emission biological effect and principles of its rationing. Readers are briefed on results of researches of laser emission impact on animals and humans. Common mechanisms of biological effect of laser emission are considered along with characteristics of its effect on eyes, skin and the general condition of a person. Key regulatory documents for laser safety are reviewed. Legal collision in Russian and EurAsEC regulatory base for laser safety system is analyzed. Enhancement of methods of State and statutory regulation of laser safety is proven to be essential.*

**Keywords:** laser emission, laser technology, laser safety, biological effect, regulatory documents, standards, technical regulations, state regulation.