

ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ

УДК 658.382.3:621.375.826:006.354

Рахманов Б.Н.¹, Кезик В.И.², Кибовский В.Т.³, Пономарев В.М.¹

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ГЛАЗА И КОЖУ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ДЛИНАМИ ВОЛН

¹ФГБУ ВО «Российский университет транспорта», Минаевский пер., 2, Москва, Россия, 127055;²ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна», ул. Маршала Новикова, 23, Москва, Россия, 123098;³Орган по сертификации «Центр по оценке соответствия и подтверждению качества оборудования, изделий и технологий АНО «АтомТехноТест»», 2-я Звенигородская ул., 13/37, Москва, Россия, 123022

Введение. Доказана ошибочность формул для определения ПДУ суммарной энергии лазерного излучения (ЛИ) в случае, когда на глаза или кожу одновременно действуют несколько источников излучения с различными длинами волн, приведенных в действующих «Санитарных нормах и правилах устройства и эксплуатации лазеров» №5804–91 (СН 5804) а также в СанПиН 2.2.4.3359–16, являющимся в настоящее время в части раздела VIII «Лазерное излучение на рабочих местах» последним из введенных в действие нормативных документов по лазерной безопасности (ЛБ). В СанПиН 2.2.4.13–2–2006 Республики Беларусь и нормативном документе №299 Комиссии Таможенного союза Евразийского Экономического Сообщества от 28.05.2010 обнаружена другая, более корректная формула для определения этого же ПДУ.

Цель работы — совершенствование нормативной базы в области ЛБ путем исправления ошибок, ранее сделанных в нормативных документах.

Вывод формул. Представлен последовательный вывод формул для определения ПДУ суммарной энергии и мощности ЛИ в случае, когда на глаза или кожу одновременно и аддитивно действуют несколько источников излучения с различными длинами волн. В результате получены формулы, которые совпали с формулами, приведенными в нормативном документе по ЛБ Республики Беларусь и в нормативном документе №299 Комиссии Таможенного союза Евразийского Экономического Сообщества от 28.05.2010.

Обсуждение. Правильность полученных формул подтверждается рассмотрением числовых примеров и сопоставлением с другими формулами, применяемыми в нормативных документах по гигиеническому нормированию других воздействующих факторов.

Заключение. Подводится итог проделанной работы и подчеркивается ее значение для решения проблемы совершенствования нормативной базы ЛБ.

Ключевые слова: многоволновое лазерное излучение; лазерная безопасность; гигиеническое нормирование; предельно допустимый уровень

Для цитирования: Рахманов Б.Н., Кезик В.И., Кибовский В.Т., Пономарев В.М. Определение предельно допустимых уровней при одновременном воздействии на глаза и кожу лазерного излучения с различными длинами волн. *Мед. труда и пром. экол.* 2018. 12: 35–38. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-12-35-38>

Для корреспонденции: Кезик Владимир Иванович, ст. науч. сотр. отдела неионизирующих излучений ФГБУ ГНЦ «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна». E-mail: vladimirik57@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Boris N. Rakhmanov¹, Vladimir I. Kezik², Vladimir T. Kibovsky³, Valentin M. Ponomarev¹

ASSESSING MAXIMAL ALLOWABLE LEVELS FOR SIMULTANEOUS SKIN AND EYES EXPOSURE TO LASER IR-RADIATION OF VARIOUS WAVELENGTHS

¹Russian University of Transport, 2, Minaevsky Ln, Moscow, Russia, 127055;²Federal Medical Biophysical Center of FMBA, 23, Marshal Novikov str., Moscow, Russia, 123098;³Center for assessment of compliance and confirmation of quality of the equipment, products and technologies of ANO «AtomTekhnoTest», 13/37, 2nd Zvenigorodskaya Str., Moscow, Russia, 123022

Introduction. Evidences prove falseness of formula determining maximal allowable level of total energy of laser irradiation in case when eyes or skin are simultaneously exposed to several irradiation sources with various wavelengths. The formula was mentioned in actual «Sanitary rules and regulations for lasers construction and exploitation» No 5804–91 and in SanPiN 2.2.4.3359–16, that in a part of VIII section «Laser irradiation at workplace» are latest acting regulation document on laser safety. SanPiN 2.2.4.13–2–2006 of Belarus Republic and regulation document No 299 of Customs Union Commission of Eurasia Economic Community on 28/05/2010 appeared to contain other, more correct formula determining the same maximal allowable level.

Objective was to improve regulation basis in laser safety by correcting mistakes made previously in regulation documents.

Deducing formulae. The article presents thorough and consistent deducing a formula to determine total energy of laser irradiation in case when eyes or skin are simultaneously and jointly exposed to several irradiation sources with various wavelengths. The efforts resulted in the formula that agreed with formulae presented in the regulation document on laser safety

of Belarus Republic and in the regulation document No 299 of Customs Union Commission of Eurasia Economic Community on 28/05/2010.

Discussion. Correctness of the obtained formula is supported by numerical examples and by comparison with other formulae used in regulation documents on hygienic regulation of other acting factors.

Conclusion. Results of the work are summarized, and emphasis is made on its value for solving problems of improving regulation basis for laser safety.

Key words: multiwave laser radiation; laser safety; hygienic regulation; maximum allowable level

For citation: Rakhmanov B.N., Kezik V.I., Kibovsky V.T., Ponomarev V.M. Assessing maximal allowable levels for simultaneous skin and eyes exposure to laser irradiation of various wavelengths. *Med. truda i prom. ekol.* 2018. 12: 35–38. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-12-35-38>

For correspondence: Vladimir I. Kezik, senior researcher, Department of Nonionizing Radiation, Federal Medical Biophysical Center of FMBA. E-mail: vladimirik57@mail.ru

Sponsorship: The study had no sponsorship.

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

Введение. В случае, когда на глаза или кожу одновременно действуют несколько источников ЛИ с различными длинами волн, нормативный документ СН 5804 регламентирует правила определения ПДУ суммарной энергии или мощности излучения от нескольких источников, действие которых является аддитивным. Предельно допустимая суммарная энергия многоволнового ЛИ в соответствии с этим нормативным документом определяется следующей формулой:

$$W_{\text{ПДУ}} = C_1 \times W_{\text{ПДУ}}^{(1)} + \dots + C_n \times W_{\text{ПДУ}}^{(n)} = \sum (C_i \times W_{\text{ПДУ}}^{(i)}) \quad (1)$$

Аналогичная формула регламентируется и для предельно допустимой суммарной мощности многоволнового ЛИ:

$$P_{\text{ПДУ}} = C_1 \times P_{\text{ПДУ}}^{(1)} + \dots + C_n \times P_{\text{ПДУ}}^{(n)} = \sum_{i=1}^n (C_i \times P_{\text{ПДУ}}^{(i)}) \quad (2)$$

где n — число источников ЛИ, действие которых аддитивно; i — порядковый номер источника ЛИ; $P_{\text{ПДУ}}$, $P_{\text{ПДУ}}^{(i)}$ — ПДУ энергии и мощности ЛИ, генерируемого каждым источником ЛИ; C_i — относительный энерговклад каждого источника, определяемый как отношение энергии (мощности) ЛИ источника с порядковым номером i к суммарной энергии (мощности) излучения всех источников.

$$C_i = \frac{W^{(i)}}{\sum_{i=1}^n W^{(i)}} = \frac{P^{(i)}}{\sum_{i=1}^n P^{(i)}} \quad (3)$$

Те же правила определения ПДУ приводятся и во введенном в 2016 г. нормативном документе СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [2] (см. приложение 8 этого документа).

Однако попытка применить ф-лы (1) и (2) показала, что они дают неверные, противоречивые результаты. Выводы о безопасности или небезопасности при одновременном воздействии нескольких различных источников ЛИ также оказываются неверными.

Рассмотрим числовой пример. Пусть падающая энергия излучения от первого источника ЛИ равна 10 условным единицам (усл. ед.), а ПДУ энергии для этого источника равен 1 усл. ед. Для второго источника считаем, что эти параметры равны, соответственно, 50 и 100 усл. ед. Расчет суммарного ПДУ для этих источников по формуле (1) дает значение 83,5 усл. ед., в то время как суммарная падающая энергия от двух источников составляет 60 усл. ед. Можно было бы сделать вывод о безопасности суммарного излучения, т. к. 60 усл. ед. < 83,5 усл. ед. Однако для первого

источника имеет место десятикратное превышение ПДУ. Некоторый запас по безопасности, имеющий место для второго источника, не уменьшает опасности излучения первого источника. Результаты расчета для этого числового примера приведены в таблице.

Таким образом, применение ф-л (1) или (2) приводит к неправильным выводам о безопасности или небезопасности при одновременном воздействии нескольких различных источников ЛИ.

Цель работы — совершенствование нормативной базы в области ЛБ путем исправления ошибок, ранее сделанных в нормативных документах.

Выявленная ошибочность ф-л (1) и (2) побудила более тщательно проанализировать нормативные документы по ЛБ. В результате в документах [3] и [4] (см. пункт 6.10 Приложения 7.1 к Разделу 7 Главы II этого документа) были обнаружены формулы для определения ПДУ суммарной энергии или мощности ЛИ от нескольких источников, отличающиеся от формул (1), (2). Эти формулы выглядят так:

$$W_{\text{ПДУ}}^{\Sigma} = \frac{1}{\sum_{(i=1)}^n (C_i / W_{\text{ПДУ}}^{(i)})} \quad (4)$$

$$P_{\text{ПДУ}}^{\Sigma} = \frac{1}{\sum_{(i=1)}^n (C_i / P_{\text{ПДУ}}^{(i)})} \quad (5)$$

Все входящие в формулы (4), (5) параметры определяются так же, как в ф-лах (1), (2).

Наличие разных формул для определения одних и тех же параметров безопасности в действующих нормативных документах заставило более основательно подойти к этому вопросу. Ниже приведен вывод рассматриваемых ф-л (4), (5).

Вывод формул. Для получения корректной формулы вводится вспомогательный параметр $k^{(i)}$, имеющий смысл коэффициента воздействия i -го источника и определяемый по формуле:

$$k^{(i)} = W_{\Lambda}^{(i)} / W^{(i)} \quad (6)$$

где $W^{(i)}$ — падающая (измеряемая дозиметрическими приборами) энергия от i -го источника; $W_{\Lambda}^{(i)}$ — действующая на ткани (определяемая величиной биологических эффектов воздействия на ткани) энергия от i -го источника.

Коэффициенты $k^{(i)}$ различны для источников ЛИ с разной длиной волны вследствие различий в коэффициентах отражения от тканей и поглощения в них.

Максимально допустимое (пороговое) значение фактически воздействующей на ткани энергии ЛИ $W_{\text{Дмакс}}$ определяется через нормируемое значение ПДУ для падающей энергии каждого i -го источника $W_{\text{ПДУ}}^{(i)}$ по формуле:

$$W_{\Delta_{\max}} = k W_{\text{ПДУ}}^{(i)} \quad (7)$$

Выражение (7) означает, что параметры k и $W_{\text{ПДУ}}^{(i)}$ являются обратно пропорциональными для каждого i .

С помощью выражения (7) можно определить отношения между разными $k^{(i)}$ с помощью отношений между соответствующими W .

В дальнейшем нам понадобятся отношения каждого из параметров $k^{(i)}$ к параметру $k^{(1)}$. Эти отношения определяются по формуле

$$k^{(i)}/k^{(1)} = W_{\text{ПДУ}}^{(1)}/W_{\text{ПДУ}}^{(i)} \quad (8)$$

При одновременном воздействии нескольких источников ЛИ, действие которых является аддитивным, величины $W_{\Delta}^{(i)}$ складываются, и суммарное воздействие определяется формулой:

$$W_{\Delta}^{(i)} = \sum_{i=1}^n (k^{(i)} W^{(i)}) \quad (9)$$

Предположим, что суммарная падающая энергия n источников \sum такова, что вызывает предельно допустимое биологическое воздействие $W_{\Delta_{\max}}$. Воспользуемся значениями $k^{(i)}$ и $W_{\Delta_{\max}}^{(i=1)}$ для первого источника (см. выражение (7)) и запишем уравнение (9) в виде:

$$k^{(1)} \text{ и } W_{\text{ПДУ}}^{(1)} = \sum (k^{(i)} W^{(i)}) \quad (10)$$

Разделим левую и правую части уравнения (10) на $k^{(1)} \times W_{\text{ПДУ}}^{(1)}$, а величину $W^{(i)}$ с помощью выражения (3) представим в виде:

$$W^{(i)} = C_i W^{\Sigma},$$

где $W^{\Sigma} = \sum_{i=1}^n W^{(i)}$.

Воспользуемся также ф-лой (8).

После этих преобразований и сокращений уравнение (10) примет вид:

$$1 = W^{\Sigma} \sum_{i=1}^n (C_i W_{\text{ПДУ}}^{(i)}) \quad (11)$$

С учетом сделанного ранее предположения о том, что суммарная энергия W^{Σ} всех источников такова, что вызывает предельно допустимое воздействие $W_{\Delta_{\max}}$, величина W^{Σ} в уравнении (11) равна искомой величине $W_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}$, что позволяет окончательно записать формулу для определения предельно допустимой суммарной энергии многоволнового ЛИ

$$W_{\text{ПДУ}}^{\Sigma} = [\sum_{i=1}^n (C_i W_{\text{ПДУ}}^{(i)})]^{-1} \quad (12)$$

Аналогичная формула может быть записана и для предельно допустимой суммарной мощности многоволнового ЛИ:

$$P_{\text{ПДУ}}^{\Sigma} = [\sum_{i=1}^n (C_i P_{\text{ПДУ}}^{(i)})]^{-1} \quad (13)$$

Обсуждение. Полученные ф-лы (12) и (13) совпадают с ф-лами (4) и (5). Для рассмотренного выше числового примера проведем расчет предельно допустимой суммарной энергии по формуле (12). Результаты этого расчета приведены в таблице.

Теперь никаких противоречий не возникает.

В таблице приведены также результаты предыдущего расчета (по ф-ле (1)).

Следует отметить, что ф-ла (1) дает завышенное значение ПДУ суммарной энергии, что недопустимо, т. к. это увеличивает опасность неблагоприятного воздействия ЛИ на организм человека.

Кроме того, в таблице приведены результаты расчета пропорционально уменьшенных значений энергии источников 1 и 2 до безопасного уровня. Следует обратить внимание на то, что формула (12) требует пропорционального уменьшения энергии источников в 10,5 раза, в то время как по первому источнику ПДУ превышает в 10 раз. Очевидно, что второй источник, хотя и находится в пределах своего ПДУ, вносит свой вклад в суммарное воздействие, что и отражается в полученных числовых значениях для рассматриваемого случая.

Если в уравнение (11) подставить значения C_i из (3) с учетом обозначения $W^{\Sigma} = \sum_{i=1}^n W^{(i)}$, то получится выражение:

$$\sum_{i=1}^n (W^{(i)}/W_{\text{ПДУ}}^{(i)}) = 1 \quad (14)$$

Эта формула получена при условии, что $W^{\Sigma} = W_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}$. Если же $W^{\Sigma} \leq W_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}$, то формула (14) примет вид:

$$\sum_{i=1}^n (W^{(i)}/W_{\text{ПДУ}}^{(i)}) \leq 1 \quad (15)$$

Формулы, подобные этой, применяются в некоторых СанПиН и других нормативных документах, когда имеет место суммирование разных факторов воздействия (действие которых является аддитивным), для которых установлены разные ПДУ.

Например, в СанПиН [5] и в соответствующем разделе СанПиН [2] приведено условие, которое должно соблюдаться при облучении от нескольких источников электромагнитного поля, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены разные ПДУ:

$$\sum_{i=1}^n (\partial \mathcal{E}_{\text{Эи}} / \partial \mathcal{E}_{\text{ЭПДУ}i}) \leq 1 \quad (16)$$

где $\partial \mathcal{E}_{\text{Эи}}$ — энергетическая экспозиция, создаваемая электрическим полем для i -го диапазона частот; $\partial \mathcal{E}_{\text{ЭПДУ}i}$ — ПДУ энергетической экспозиции, создаваемой электрическим полем для i -го диапазона частот.

Таблица

Числовой пример применения формул (1) и (12) для двух источников ЛИ, усл. ед.
Numerical example of using formulae (1) and (12) for two sources of laser irradiation, c. u.

Источники ЛИ	Падающая энергия	ПДУ,	Суммарная энергия	ПДУ суммарной энергии (ф-ла (1))	ПДУ суммарной энергии (ф-ла (12))
Источник №1	10	1	60	83,5	5,714
Источник №2	50	100			
Заключение о безопасности:				Безопасно, т. к. 60 < 83,5	Опасно, превышение ПДУ в 10,5 раза
Пропорционально уменьшенные значения энергии источников до безопасного уровня					
Источник №1	0,95	1	5,71	83,5	5,714
Источник №2	4,76	100			
Заключение о безопасности:				Безопасно	Безопасно

В качестве второго примера можно привести следующее. В нормативном документе [6] и руководствах [7,8] рассмотрено воздействие вредных веществ однонаправленного действия с эффектом суммации. При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них (K_1, K_2, \dots, K_n) в воздухе рабочей зоны к их предельно допустимым концентрациям ($ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$) не должна превышать единицы:

$$K_1/ПДК_1 + K_2/ПДК_2 + \dots + K_n/ПДК_n \leq 1 \quad (17)$$

Ф-лы (16) и (17) совпадают по виду с ф-лой (15).

При необходимости для каждого из приведенных выше примеров по формуле, аналогичной формуле (12), могут быть вычислены значения ПДУ суммарной энергетической экспозиции электромагнитного излучения и предельно допустимой суммарной концентрации нескольких вредных веществ однонаправленного действия.

В заключение можно сказать следующее: выявлена ошибочность формул для определения предельно допустимой суммарной энергии и мощности ЛИ в случае, когда на глаза или кожу одновременно действуют несколько источников излучения с различными длинами волн, приведенных в ныне действующих СН 5804–91 и в нормативном документе СанПиН 2.2.4.3359–16, являющимся в настоящее время основными отечественными нормативным документом по ЛБ.

В нормативных документах [3] и [4] были обнаружены другие формулы для определения тех же параметров, корректность которых доказывается последовательным их выводом и подтверждается рассмотрением числовых примеров. Доказательством правильности формул (12) и (13) может служить также то, что формула (15), являющаяся следствием формулы (12), широко используется в нормативных документах и декларируется как самоочевидная.

Учитывая сказанное, актуальной является работа по совершенствованию нормативной базы в области ЛБ [9].

Выводы:

1. Выявлена коллизия с формулами для определения ПДУ суммарной энергии и мощности ЛИ в случае, когда на глаза или кожу одновременно действуют несколько источников ЛИ с различными длинами волн, сделан подробный вывод правильных формул и всеми доступными средствами доказана необходимость их практического применения.

2. В настоящее время крайне актуальной является работа по совершенствованию нормативной базы в области ЛБ. Исправление ранее допущенных ошибок в нормативных документах способствует совершенствованию данной нормативной базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров № 5804–91. Утв. Зам. Главного государственного санитарного врача 31.07.1991 г.
2. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Утв. по-

становлением Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 г. № 81.

3. СанПиН 2.2.4.13–2–2006. Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий. Республика Беларусь.

4. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Утв. решением Комиссии Таможенного союза Евразийского Экономического Сообщества 28.05.2010 г., документ №299.

5. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

6. ГН 2.2.5.686–98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

7. Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

8. Приложение №8 к Методике проведения специальной оценки условий труда, утвержденной приказом Минтруда России от 24 января 2014 г. №33н.

9. Рахманов Б.Н., Пальцев Ю.П., Кибовский В.Т. Проблема противоречий в нормативной базе лазерной безопасности. *Гигиена и сан.* 2017; 6: 535–40.

REFERENCES

1. Sanitary rules and regulations of lasers construction and exploitation № 5804–91. Approved by Deputy Chief State Sanitary Medical Officer on 31.07.1991 (in Russian).
2. SanPiN 2.2.4.3359–16. Sanitary epidemiologic requirements to physical factors at workplaces. Approved by Resolution of Chief State Sanitary Medical Officer of RF on 21.06.2016 № 81 (in Russian).
3. SanPiN 2.2.4.13–2–2006. Laser irradiation and hygienic requirements in exploitation of laser devices. Belarus Republic. (in Russian).
4. Unified sanitary epidemiologic and hygienic requirements to goods subjected to sanitary epidemiologic supervision (control). Approved by Resolution of Customs Union Commission of Eurasia Economic Community on 28.05.2010, document №299 (in Russian).
5. SanPiN 2.2.4.1191–03. Electromagnetic fields in industrial conditions (in Russian).
6. GN 2.2.5.686–98. Maximal allowable concentrations (MAC) for chemical hazards in air of workplace. Hygienic standards (in Russian).
7. Р 2.2.2006–05. Manual on hygienic evaluation of working environment and working process factors. Criteria and classification of work conditions (in Russian).
8. Appendix №8 to a Method for special evaluation of work conditions, approved by Order of Russian Labor Ministry on 24 January 2014 №33n (in Russian).
9. Rakhmanov B.N., Paltsev Iu.P., Kibovskii V.T. Problem of contradictions in regulation basis for laser safety. *Gigiena i san.* 2017; 6: 535–40 (in Russian).

Поступила 10.10.2018