



## СВЕРХОСТРАЯ ФОКУСИРОВКА – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

С.И.Хилов, ООО "Лазервариоракурс",  
www.LaserVR.ru,  
О.Л.Головков к.ф.-м.н., golovkova@mail.ru

Вопрос безопасности при работе с лазерным излучением и его решение порождают постоянные споры в среде пользователей и разработчиков лазерных приборов и услуг. Взгляды, оценки и нормативные документы на предельно допустимый уровень (ПДУ) и максимально допустимую экспозицию (МДЭ) лазерного излучения различаются между собой. Представлены рассуждения о причинах происхождения основных различий в нормах ПДУ-МДЭ в видимом диапазоне лазерного излучения.

**В**опрос безопасности при работе с лазерным излучением возник с появлением первого лазера и автоматически привел к созданию довольно стройной системы взглядов, оценок и нормативов, которые в окончательном виде были сформулированы в ANSI Z-136.1-1976 и IEC-825, и дожили до нашего времени без существенных изменений, что говорит о качестве проделанной учеными работы. Но в конце 80-х некоторые отечественные умы совершили открытие "на кончике пера" – сверхострая фокусировка лазерного излучения в глазу [1], которая развела нас с прогрессивным человечеством, будем надеется, что не навсегда.

Что же такое сверхострая фокусировка? Человеческий глаз в оптическом плане можно представить как некий сложный объектив с оптической силой 50–60 дптр, состоящий из роговицы, хрусталика, стекловидного тела и входной переменной диафрагмы диаметром 1,8–7,5 мм (по некоторым данным 1–8 мм) – зрачок плюс веки (прищур), что в совокупности для простоты можно заменить идеальной линзой, забыв о поглощении, рассеянии и прочих оптических искажениях. Это и позволило ученым-теоретикам предположить, что при расположении идеальной асферической линзы оптической силой 60 дптр (реально при аккомодации на бесконечность 50 дптр) по ходу одномодового лазерного пучка с перетяжкой, находящейся на бесконечности, лазерное излучение может сфокусироваться в пятно диаметром 10 мкм. Согласно теории это так, но при соблюдении некоторых предпосылок, а именно: диаметр пучка меньше зрачка (дифракция) и действие происходит в дальней зоне  $z \gg L_p$ .

## ULTRAFINE FOCUSING: MYTH OR REALITY?

S.I.Hilov, O.L.Golovkov, LaserVR

The safety issue and its decision cause constant disputes among users and designers of laser devices and services during the work with laser radiation. There are differences among reviews, estimations and regulatory documents on the maximum allowable limit of a laser radiation. Arguments on reasons of main distinctions origin in norms of discrete elements method and maximum allowable limit in a visible range of laser radiation are presented.

**T**he safety issue arose with the first laser occurrence during the work with a laser radiation and it automatically led to creation of quite streamlined system of views, estimations and standards that are formulated in ANSI Z-136.1-1976 and IEC-825 in the final form and they have survived until now without essential changes. This fact indicates the quality of the work done by scientists. But in the late eighties some domestic minds have made the following discovery with the point of their pen: ultrafine focusing of a laser radiation in an eye [1] has separated us from progressive mankind. We hope that this is not forever.

What is the ultrafine focusing? A human eye can be presented as a certain composite lens with the optical power of 50–60 diopters from the optical point of view, consisting of cornea, crystalline lens, crystalline humor and input variable diaphragm with 1.8–7.5mm diameter (according to some information it is 1–8 mm diameter), i.e. eye pupil plus eyelids (squint) that it is possible to be replaced simply with an ideal lens in total, having forgotten about absorption, scattering and other optical distortions. This allowed scientists-theorists to assume that the laser radiation can be focused in a spot with a diameter of 10 microns when arranging an ideal aspheric lens with 60 dioptries optical power (it is practical at accommodation on 50 dioptries infinity point) on the course of a single-mode laser bunch with the constriction which is on infinity point. According to the theory this fact is confirmed only when observing some prerequisites, i.e. diameter of a bunch is less than eye pupil (diffraction) and an action occurs in a distant zone  $z \gg L_p$ .

Для искомой фокусировки в  $D=10$  мкм (1) для длины волны  $\lambda=0,5$  мкм, длина полуконфокального резонатора  $L_p$  составит 1,74 м. При наблюдении с расстояния порядка  $z=6-10$  м диаметр входного пучка  $d_z$  (2) в глаз составит 5 мм.

$$D = \theta F_{\text{гл}} M^2; \theta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\lambda}{L_p}}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – энергетическая расходимость по уровню  $1/e^2$ ,  
 $F_{\text{гл}}$  – фокусное расстояние глаза,  
 $M^2$  – M-фактор (для TEM<sub>00</sub>  $M^2=1$ , гипергаусс,  $M^2=5-10$ , FlatTop  $M^2=30-40$ ).

$$d_0 = \sqrt{\frac{4L_p \lambda}{\pi}}; d_z = d_0 \approx \theta z, \quad (2)$$

где  $z$  – текущая координата до глаза от выходного зеркала,  $d_0$  – диаметр перетяжки на выходном зеркале по уровню  $1/e^2$ . И никакая аккомодация ничего не меняет и не уменьшает диаметр пучка, попадающего на сетчатку. Реальности далеко до теории – все размеры гораздо больше.

Авторы сверхострой фокусировки лазерного излучения в глаз не придумали ничего лучшего, чем пропорционально уйти от общепринятых МДЭ, даже не обращая внимание на угловой размер Солнца при наблюдении с Земли (угловой размер Солнца  $0,5^\circ$ ). Энергетическая плотность мощности солнечной энергии на земле  $P_s=1000$  Вт/м<sup>2</sup>, а так как глаз фокусирует излучение в пятно от 0,3 до 1,4 мкм, то возьмем плотность мощности солнечной энергии, воспринимаемой глазом, 500 Вт/м<sup>2</sup>. При силе глаза 60 дптр на сетчатке глаза строится изображение Солнца диаметром 150 мкм. При диаметре зрачка глаза 2 мм в него проходит 1,5 мВт. Плотность мощности (3) равна 84 мВт/мм<sup>2</sup>, или 21 мДж/мм<sup>2</sup>, при длительности экспозиции 0,25 с.

$$P_s = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (7,5 \cdot 10^{-2})^2}. \quad (3)$$

For required focusing of  $D=10$  mkm (1) and for a wavelength  $\lambda=0,5$  mkm, the length of semiconfocal resonator  $L_p$  should be 1.74m. When observing a distance of  $z=6-10$ m the diameter of an entering bunch of  $d_z$  (2) to an eye should be 5 mm.

$$D = \theta F_{\text{гл}} M^2; \theta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\lambda}{L_p}}, \quad (1)$$

Where  $\theta$  is the energy divergence at  $1/e^2$  level,  
 $F_{\text{гл}}$  is an eye focal distance,  
 $M^2$  is an M index (for TEM<sub>00</sub>  $M^2=1$ , super-Gaussian beam  $M^2=5-10$ , FlatTop  $M^2=30-40$ )

$$d_0 = \sqrt{\frac{4L_p \lambda}{\pi}}; d_z = d_0 \approx \theta z, \quad (2)$$

where  $z$  is the running coordinate from a front mirror to an eye,  $d_0$  is a constriction diameter on an output mirror at  $1/e^2$  level. Any accommodation changes nothing, and it does not reduce beam diameter on retina. Reality is far from theory everything is much greater.

The authors of ultrafine focusing of a laser radiation in an eye have invented nothing better, than to to abandon the discrete elements method, even without regard for the sun. Angular scale of the sun is  $0.5^\circ$ . Energy density of solar energy power on the earth is  $P_s=1000$  W/m<sup>2</sup> as an eye focuses on radiation from 0.3 to 1.4 microns. Let us accept density of power of the solar energy received by an eye for 500 W/m<sup>2</sup>. Having 60 dioptries eye power, the image of the Sun with 150 microns is built on a retina. Having 2 mm eye pupil diameter, 1.5 mW sun energy passes through it. Power density (3) is equal to 84 mW/mm<sup>2</sup> or 21 mJ/mm<sup>2</sup> in case of radiation during 0.25 sec.

$$P_s = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (7,5 \cdot 10^{-2})^2}. \quad (3)$$



Совершенно очевидно, что прямой взгляд на солнце в зените опасен для зрения. Если принять условие, что при фокусировке 10 мкм опасно излучение 0,1 мВт, то разрешенная плотность мощности в глаз (4) равна 1,27 Вт/мм<sup>2</sup>. Выглядит довольно странно.

$$P_s = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-2})^2} \quad (4)$$

А возможна ли такая фокусировка лазерного излучения на сетчатку глаза в реальной жизни?

В заявлениях, содержащихся в разных версиях рассуждений о лазерной безопасности г-на Желтова Г.И. [1-3], есть сообщения то о неких данных от врачей, которые на своей аппаратуре разглядели микрповреждения сетчатки глаза юстировщиков He-Ne лазеров, то о некоем сверхопределенном эксперименте, или просто "описатки" про длину волны излучения гелий-неонового лазера [1, 2], или замечание, что "предельно допустимые энергетические параметры для лазеров 1-го, 2-го и 3-го классов отличаются адекватно различиям ПДУ-МДЭ", что ничего общего с реальностью не имеет [3]. Есть вопросы к автору теории и конечно к соавторам, которые с маниакальным усердием занимаются арифметикой и, видно, слабо разбираются в лазерных лучах, а потому предполагают повреждение сетчатки глаза от лазерных пучков He-Ne лазера, которые даже трудно заметить невооруженным глазом. Напоминаем, что данный ПДУ является результатом аппроксимации (экстраполяции) реальных результатов измерений фокусировки лазерного излучения на сетчатке глаза из области 150 мкм в область предполагаемого диаметра острой фокусировки 10 мкм [1].

Отечественные и зарубежные данные измерений 70-х и 80-х годов относятся к диапазону минимально возможных диаметров пятна на сетчатке - от 50 мкм до 150 мкм, и это реальность в подавляющем большинстве случаев. Разработчики ANSI на все ошибки еще ввели 10-кратный гигиенический запас.

Можно в реальности хотя бы приблизиться к моменту острой фокусировки? Авторы острой фокусировки предполагают, что на роль арбитра претендует субъект, глаз которого пронзает луч лазера. Очевидно, предполагается, что оптическая ось глаза, как оптического устройства, и ось лазерного луча совпадают. То есть рассматривается ситуация, когда оператор юстирует резонатор лазера с помощью коллимационного (коллиматорного [1]) метода.

It is obvious that the direct view of the sun in a zenith is dangerous for sight. In case of accepting the condition that when 10 microns focusing 0.1 mW radiation is dangerous, the allowed density of power in an eye (4) is equal to 1.27 W/mm<sup>2</sup>. It looks quite strange.

$$P_s = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-2})^2} \quad (4)$$

And is ultrafine focusing of laser radiation on eye retina possible in real life?

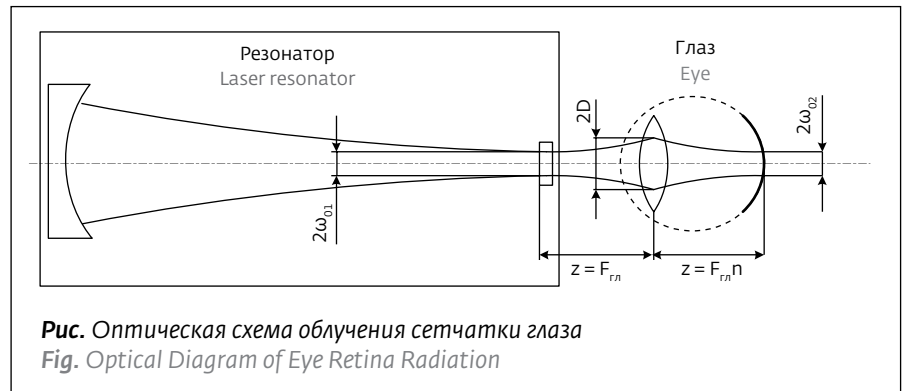
Statements contained in different versions of discussing on laser safety of Mr. G.I. Zheltov include statements on certain data obtained from doctors who have found some microdamages of eye retina of He-Ne lasers adjuster, and about certain overdetermined experiment, or just misprints on wavelength of helium-neon laser radiation [1,2] or the note that "maximum-permissible energetic parameters for lasers of the 1st, 2nd and 3rd classes differ according to distinctions of discrete elements method and maximum allowable limit". These statements have nothing to do with reality [3]. There are some questions to the author of the theory and certainly to co-authors who have maniac diligence when deal with arithmetic, and who obviously have little understanding of laser beams, and therefore they consider an injury of eye retina made by laser beams of He-Ne laser and they are difficult to see with the naked eye. It should be reminded that this maximum allowable limit is a result of approximation (extrapolation) of real results of laser radiation focusing measurements on an eye retina from the area of 150 microns to the area of estimated diameter of 10 microns ultrafine focusing [1].

Domestic and foreign measurements data of 70th and 80th belong to the range of minimum possible spot diameters on a retina from 50 microns to 150 micron, and it is a reality in most cases.

ANSI developers have included a 10-time hygienic allowance for all errors.

Is it possible at least to approach to ultrafine focusing in reality? Authors of ultrafine focusing suppose that duties of a person of which include placing his eye on optical axis that it the same as a laser beam axis pretend to be a subject, i. e. it is referred to laser resonator adjuster who

Опишем стандартную технологию юстировки коллимационным методом. Для наблюдения отраженного света от дальнего зеркала нужно разъюстировать ближнее зеркало, чтобы оно не давало бликов от стенок, образующих обрамление активной среды (капилляра в газовом лазере). Далее нужно возбудить активную среду, получить поток света и обязательно воспользоваться темными (лучше защитными) очками. После выполнения юстировки глухого зеркала с помощью диоптрийной трубы переходят к юстировке выходного зеркала, которое возвращают на свое место и предварительно юстируют "на холодную" по кресту, совмещая отражение креста от зеркала с серединой видимого через разрядный канал зеркала, подсвеченного с обратной стороны резонатора. Внимание (!), если генерация не появляется, то через глухое зеркало производится ее поиск коллимационным способом в защитных очках. Это стандартная юстировка газовых лазеров



uses collimation method (collimator [1]) in his work.

Let us describe the standard technology of adjustment made by collimation method. For observation of reflected light from remote mirror it is necessary to disadjust a near mirror to avoid glares from the walls forming a border of the active medium (capillary in the gas laser). Further it is necessary to excite the active medium, to receive a light flow and surely to use tinted glasses (better protective goggles). After non-



видимого диапазона, что и является, собственно, предметом раздора. Такой способ юстировки применяется крайне редко и актуален в самых сложных резонаторах – одномодовых и "кривых", когда необходимо выводить на ось резонатора рабочее тело в оптимум усиления. Глаз нужен только для слежения за индикатором мощности, так как генерацию получают обычным сканированием выходного зеркала в раскачку по двум осям, до максимума. Что же в сухом остатке – миф о микроповреждении сетчатки глаза юстировщиками газовых лазеров, нарушившими технологию юстировки. И это не единственный миф.

Возьмем классический широко распространённый полуконфокальный резонатор лазера, излучение которого, как известно, для удобства в большинстве случаев выходит через плоское зеркало. При юстировке такого резонатора лазерное излучение может попасть на незащищенный защитными очками глаз юстировщика, который находится максимально близко к выходному плоскому зеркалу (20–30 мм). Перетяжка лазерного пучка полуконфокального резонатора находится на поверхности плоского зеркала. Оптическая схема облучения сетчатки глаза представлена на рисунке. Построим классические уравнения для перетяжки, угловой расходимости, радиуса кривизны волнового фронта гауссовых лучей (5–7):

$$\omega^2 = \omega_{01}^2 + (z/k\omega_{01})^2, \tag{5}$$

$$R = z + (k\omega_{01}^2)^2 / z, \tag{6}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} - \frac{1}{F_{гЛ}}. \tag{7}$$

Примем  $z = F_{гЛ}$ , тогда получим:

$$D^2 = \frac{k^2\omega_{01}^4 + F_{гЛ}^2}{k^2\omega_{01}^2}, r = -\frac{k^2\omega_{01}^4 + F_{гЛ}^2}{k^2\omega_{01}^4} F_{гЛ} \text{ и } \omega_{02}^2 = \frac{D^2}{r^2 + k^2D^4} r^2.$$

В результате имеем  $\omega_{02}^2 = \omega_{01}^2$ . Приходим к общеизвестному результату – не может лазерное излучение полуконфокального резонатора сфокусироваться на сетчатку глаза юстировщика, так как перетяжка гауссова луча попадает в плоскость, расположенную вблизи фокальной плоскости глаза. Аккомодация лишь меняет незначительно диаметр пятна в фокусе, но при этом уводит перетяжку с сетчатки.

Другие попытки нанизать глаз на видимый лазерный луч можно приравнять к членовредительству, и в реальной жизни они настолько маловероятны, что почти невозможны. Вероятность обнаружения, которое может привести к неприятным для здоровья последствиям, неким homo sapiens ("посто-

transmitting mirror adjustment by means of diopter tube, an adjustment is made for output mirror returned on the place and beforehand an adjustment according to a cross position in a cold state is performed, combining cross reflection from the mirror with the middle of the mirror visible through mirror's discharge channel that is illuminated from resonator reverse side. Attention (!), if no generation appears, its search is performed by a collimation method through a non-transmitting mirror in goggles. It is a standard adjustment of visible gas lasers, as is, actually, matter of disputes. Such method of adjustment is applied extremely seldom and is urgent in the most difficult resonators, i.e. in the single-mode and curved ones when it is necessary to bring a working body to resonator axis at amplification optimum. An eye is necessary only for tracking the power indicator as generation is received by means of a common scanning of an output mirror by oscillation on two axes, to maximum value. And there is a myth about eye retina microdamage by gas lasers adjusters violating the adjustment technology in dry residual. And this myth is not a single one.

Let us consider the common widespread semiconfocal laser resonator where in most cases the radiation escapes from a plane mirror, as we know, for convenience. In case of such resonator adjustment the laser radiation can get to adjuster's eye unprotected by goggles which is placed most closely to an output plane mirror (20–30 mm). The laser beam constriction of the semiconfocal resonator is on plane mirror surface. The optical layout of retina radiation is provided in fig. 1. Applying the classical equations to Gauss rays (5,6,7):

$$\omega^2 = \omega_{01}^2 + (z/k\omega_{01})^2, \tag{5}$$

$$R = z + (k\omega_{01}^2)^2 / z, \tag{6}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} - \frac{1}{F_{гЛ}}. \tag{7}$$

Accepting  $z = F_{гЛ}$  we obtain

$$D^2 = \frac{k^2\omega_{01}^4 + F_{гЛ}^2}{k^2\omega_{01}^2}, r = -\frac{k^2\omega_{01}^4 + F_{гЛ}^2}{k^2\omega_{01}^4} F_{гЛ} \text{ and } \omega_{02}^2 = \frac{D^2}{r^2 + k^2D^4} r^2.$$

As a result  $\omega_{02}^2 = \omega_{01}^2$  is obtained. A well-known result is obtained, i.e. the laser radiation of the semiconfocal resonator cannot be focused on a retina of adjuster's nearby eye as the constriction of Gauss beam is near the eye focal plane. Accom-





ронним В") источника с расходимостью 1 мрад антенной (глазом) с приемной диаграммой направленностью 10 угл.град. на расстоянии метров даже в невидимом варианте (тем более попасть под луч в видимом) ничтожна, порядка одной миллионной при однократном открытии глаза на 0,25 с. Более реально фокусирование на сетчатку глаза изображения рассеянного от предметов лазерного луча, но в этом случае энергетика лазерного излучения, попадающая в глаз, на несколько порядков ниже энергетика прямого лазерного луча. И тут есть своя отнюдь не простая специфика, связанная с когерентностью излучения (спеклы).

Построение попадания в глаз человека лазерного излучения, положенное в основу определения ПДУ-МДЭ, и все, что под этим подразумевалось, – очень упрощенная абстракция, и не имеет отношения к зрению (смотри соответствующую литературу по зрению). Все эти упрощения о неподвижности глазного яблока достаточно самостоятельно ужесточили нормы, которые хороши разве для окулистов-практиков и атропированного пациента в операционном станке. Необратимые повреждения глаза у человека лазером (полная потеря зрения одним глазом) – экзотика, за 40 лет наблюдения в мире имелось пять случаев – величина приемлемого риска пренебрежимо мала (десятиллионная). У шахтеров смертность – одна десятитысячная. Напомним что ПДУ это уровень энергетического воздействия, которое вызывает повреждение нативных тканей с вероятностью 0,1%. Неприятности случаются не только с теми, кто не читал правил, но и с теми, кто не смог или не успел прочитать до конца все безрадостные тома печальных констатаций прошлого опыта.

Итак, борьба с призраками во имя здоровья или чего еще, как всегда, порождает арифметических чудовищ (не будем вспоминать про хроническое облучение – тоже отечественное заболевание). Безобидные на первый взгляд требования приводят к отнюдь не безобидным следствиям, поглощая массу энергии, где-то по-настоящему необходимой для предотвращения действительных неприятностей.

Во-первых, остаются вопросы по невидимому, но столь очевидно опасному для глаз излучению, против которого у человека нет рецепторов. Интуитивно не понятно почему для видимого диапазона (яркий свет) берут диафрагму 7 мм. Скорее всего это еще один 10-кратный запас в ПДУ.

Во-вторых, сама классификация опасности весьма условна. Например, согласно МЭК, лазер мощностью

modation only changes slightly a spot diameter in focus, but at the same time it takes away a constriction from a retina.

Other attempts to place the eye on a visible laser beam can be equated to mutilation, and they are so improbable that they are almost impossible in real life. The probability to find 1 Mrad source divergence with 10 deg antenna (eye) angle reception diagram with consequences at distance of meters even in invisible form by some homo sapiens "foreigner B" (especially to get into a beam in visible form) is insignificant, and it is about one part in a million in case of single eye opening for 0.25 sec. Focusing of the image of the laser beam scattered from objects on eye retina is more real, but in this case the energy of a laser radiation getting into eye is several times lower than the energy of a direct laser beam. And there is not simple particularity related to radiation coherence (speckles).

The creation of laser radiation hitting into a human eye as an integral part of determination of discrete elements method and maximum allowable limit, and everything that was implied is a very simplified abstraction related to ophthalmology (see the appropriate literature on ophthalmology). All these simplifications on eyeball immovability have independently toughened norms which are convenient for ophthalmologist expert and for a patient for whom Atropinum was applied in the operational machine. The permanent damage of human eye made by laser (total loss of sight of a single eye) is rare phenomenon. Five cases in the world have occurred for 40 years of observation. The value of the acceptable risk is extremely low (one part in ten million). Death rate of miners is one part in ten thousand. Let us remind that maximum allowable limit is the level of energy deposition which causes damage of native tissues with probability of 0.1%. Troubles happen not only to those who have not read rules, but also to those who could not or have not managed to read all volumes concerning troubles of last experience up to the end.

So, the fight against ghosts for health or for something else creates as always, arithmetical monsters (let us do not remind a chronic radiation that is domestic disease too). Requirements that are harmless at first sight lead to serious consequences, and absorb the mass of energy, that is necessary somewhere for preventing serious troubles.



501 мВт относится к 4-му классу опасности, а 499 мВт – к 3-му классу опасности (для сравнения: 4-й класс опасности, согласно СанПиН 5804-91 – 50 Вт [3]). Ведь речь идет только о потенциальной угрозе, и отнюдь не мило выглядит принадлежность к одному классу опасности 20 кВт невидимого луча технологического непрерывного CO<sub>2</sub>-лазера и полуваттного видимого лазера!? Понятие класса опасности указывает только на необходимость глубже анализировать лазерно-опасную зону, а не делать из этого какие-то катастрофические выводы.

По мнению же соавторов [3] СанПиН 5804-91, все предельно ясно и понятно: "К концу 80-х в СССР были получены передовые по тем временам результаты, которые объективно, а вовсе не из-за чьих-либо амбиций или по какому-то указанию свыше, оказались жестче западных нормативов. Утверждать нечто обратное – означает обвинять в недобросовестности ученых медико-биологического профиля и инженеров-практиков, потративших значительные отрезки своей жизни и достаточно крупные суммы государственных денег на создание основ ЛБ в России".

Из предъявленных на обозрение Желтовым Г.И. данных не наблюдается никаких передовых результатов [1], а вот желание оказаться "впереди Европы всей" с острой фокусировкой и неблагоприятной аккомодацией с соответствующей ей "арифметикой" налицо.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Желтов Г.И.** Как это было. Ч.5. – ЛАС, 2016, с.163,168–170.  
Zhel'tov G.I. Kak jeto bylo. Ch.5. – LAS 2016, s.163,168–170.
2. **Желтов Г.И и др.** Вопросы лазерной офтальмологии. Гл.2. – М.: Изд. Апрель, 2013, с.15–31.  
Zhel'tov G.I i dr. Voprosy lazernoj oftal'mologii, Gl.2. – M.: Izd. April", 2013? s.15–31.
3. **Рахманов Б.Н., Кибовский В.Т.** – Лазер-информ, 2016, вып.21–22.  
Rahmanov B.N., Kibovskij V.T. – Lazer-inform, 2016, vyp.21–22.

First of all, there are questions concerning invisible, but so obviously dangerous radiation for eyes, against which the person has no receptors. Intuitively it is not clear why 7 mm diaphragm is used for the visible range (bright light). Most likely it is one more 10-time allowance in maximum allowable limit.

Secondly, the hazard classification is itself very conditional. For example, according to an International Electrotechnical Commission 501 mW laser belongs to the 4th class of hazard, and 499 mW one belongs to the 3rd class (for comparing, the 4th class of hazard, is 50 W according to SanPiN 5804-91 [3]). It is only about potential threat, and 20 kW invisible beam of the technological continuous CO<sub>2</sub> laser and 0.5 Watt visible laser that belong to one hazard class are quite bad facts. The concept of a hazard class indicates only a need to analyze a laser and dangerous zone more deeply, but not to make any disastrous conclusions.

According to co-authors [3] of SanPiN 5804-91, everything is extremely clear: "By the end of the 80th in the USSR advancing results were obtained and at that times the results were more exacting than the western standards without prejudice and not because of someone's ambitions or according to any administrative instruction. To claim something opposite means accusing medico-biological scientists and expert engineers who spent the considerable parts of lives and rather large amounts of state money for creation of bases of laser safety in Russia".

From the data shown on a review by G. I. Zhel'tov, no advanced results [1] are occurred and a wish to be "ahead of the curve" with ultrafine focusing and unfavorable accommodation with corresponding "arithmetic" are available.