

## Медицинское направление в НТО «ИРЭ-Полюс» – путь к лидерству

*В.П.Минаев, главный научный сотрудник ООО НТО «ИРЭ-Полюс», Фрязино, МО*



История деятельности НТО «ИРЭ-Полюс» в области создания лазерной медицинской техники можно отсчитывать с 1996г., когда *В.П.Гапонцев* предоставил московскому ФНПЦ «Прибор» диодный лазерный модуль, изготовленный по разработанной

в объединении технологии в виде интегрального волоконного устройства. На основе этого модуля был разработан лазерный скальпель-коагулятор «Лазон-10П», ставший первым зарегистрированным отечественным диодным лазерным скальпелем. Это произошло в дефолтном 1999г., и средств на дальнейшее развитие этого направления у «Прибора» не было. В связи с этим было решено осуществлять совместный выпуск «Лазонов» в НТО «ИРЭ-Полюс», где был создан небольшой отдел медицинских лазеров, который наряду с мелкосерийным выпуском «Лазона-10П» начал разработку семейства медицинских аппаратов на основе разработанных в объединении лазеров. Наряду с аппаратами на волоконных лазерах с длинами волн 1,06, 1,57 и 1,94 мкм по идее *В.П.Гапонцева* был разработан аппарат с выводом в одно рабочее волокно двух независимо регулируемых излучений 0,97 и 1,57 мкм [1]. В объединении были созданы близкие к идеальным условия для работы, сотрудники смежных подразделений охотно участвовали в создании и выпуске медицинских аппаратов.

В сентябре 2001г. были завершены клинические испытания и зарегистрировано семейство ЛС-«ИРЭ-Полюс», включающее аппараты, работающие на длинах волн 0,97 и 1,56 мкм, в

2002г. семейство прошло регистрацию на Украине, а в 2003г. удостоилось золотого Знака Качества «Российская марка». В 2004г. это семейство было перерегистрировано с новыми длинами волн – 1,06 и 1,9 мкм и двухволновыми аппаратами, получив от *Т.И.Носковой* новое наименование – «ЛСП-«ИРЭ-Полюс». При этом на момент создания медицинские аппараты на основе волоконных лазеров с  $\lambda=1.57$  и 1,94 мкм, а также двухволновый аппарат не имели аналогов в мире. После модернизации это семейство прошло перерегистрацию в 2013г.

Одновременно велась активная работа с врачами различных специальностей. Наиболее успешным было сотрудничество со следующими специалистами:

- в оториноларингологии – *Т.И.Гаращенко* (Морозовская ДГКБ, Москва), *С.А.Агеева* (Центральная п-ка №2 РЖД, Москва), *О.И.Бурлак* (Краевая б-ца №2, Хабаровск);
- в нейрохирургии – *Б.И.Сандлер*, (Приморский КДЦ, Владивосток), *А.В.Иваненко* (Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени профессора А.Л.Поленова);

### **В номере:**

- **Медицинское направление в НТО «ИРЭ-Полюс» – путь к лидерству**  
*В.П.Минаев*
- **ПИСЬМА КОЛЛЕГАМ. Измеряйте правильно**  
*В.Н.Крутиков*
- **ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**
- **Объявление**

- в травматологии и ортопедии – *В.А.Привалов* с сотрудниками (ЧГМУ, Челябинск), *С.В.Иванников* (ММА им. Сеченова, Москва);
- в стоматологии – *А.В.Удовенко* (МСЦ «Эстетика», Донецк, Украина), *А.С.Каспаров* и *Л.А.Григорьянц* (ЦНИИС и ЧЛХ, Москва);
- в эндоскопической хирургии – *Л.М.Рошаль*, *А.В.Брянцев* (НИИНДХиТ, Москва);
- во флебологии – *А.Л.Соколов* (ЛРЦ Росздрава, Москва);
- в кардиохирургии – *В.М.Шипулин* и *Н.В.Коровин* (НИИ хирургии г.Томск), *П.М.Ларионов* (Институт патологии кровообращения им. Мешалкина, Новосибирск);
- в проктологии и гинекологии – *А.В.Гейниц* с сотрудниками (ГНЦ лазерной медицины, Москва).

Участвовали в работе и врачи других ведущих медицинских учреждений.

Важную роль в нашей работе сыграло сотрудничество с физиками-разработчиками медицинских технологий – *В.М.Чудновским* и *В.И.Юсуповым* (ИМФ им. Копиллема, Владивосток), *В.Н.Баграташвили* с сотр. (ИПЛИТ РАН, Троицк), *В.А.Лаппой* (ЧГМУ, Челябинск).

«ИРЭ-Полюс» передавало учреждениям для разработки методик применения свои аппараты. Благодаря этому уже в первое десятилетие XX века было разработано и зарегистрировано более 10 пособий для врачей и медицинских технологий, при этом многие разработанные методики имели мировой приоритет. К ним относятся, в частности лазерная термопластика хрящей [2], лазерная реконструкция межпозвоночных дисков [3,4], лечение остеомиелитов методом лазерной остеоперфорации [5]. Важно отметить, что все работы в медицинском направлении велись за счет собственных средств, без государственной поддержки.

В 2004г. начался мировой кризис и НТО «ИРЭ-Полюс» в связи с финансовыми трудностями вынуждено было закрыть медицинское направление. При этом *В.П.Гапонцев* передал документацию на медицинские аппараты ООО «Чистозор», а затем и ООО «МИЛОН-Лазер», продолжавшим по ней их выпуск.

В это же время в американской компании «IPG Photonics» *Д.В.Гапонцевым* и *В.Канчария* был разработан макет медицинской установки на основе лазера на тулий-активированном волокне с длиной волны  $\lambda=1.94$  мкм с выходной мощностью до 110 Вт, который был передан для апробации группам *Натаниэля Фрида* (Dept. of Urology, Johns Hopkins Medical Institutions, Baltimore, Maryland) и *Кейт Мюррей* (Laser & Electro-Optics Branch, NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia). Результатом их исследований стали публикации [6-8], показавшие перспективность использования таких аппаратов в урологии для операций на мягких тканях и



*Рис.1 Сравнение размеров аппаратов для урологии на основе тулиевого волоконного лазера и на основе Ho:АИГ.*

литотрипсии (дробления камней) в мочевыводящих путях. Фотографии разработанного макета и аппарата конкурентов с лазером на АИГ:Но из [6] представлены для сравнения на **рис.1**. При этом надо учитывать, что благодаря тому, что поглощение излучения с  $\lambda=1.94$  мкм в воде (основном хромофоре при операциях и литотрипсии) примерно в 4 раза превышает поглощение излучения с  $\lambda=2.1$  мкм (лазеров на АИГ:Но).

Впоследствии *Н.Фрид* с коллегами продолжил исследования, направленные на изучение особенностей использования в урологии лазеров на тулий-активированном волокне. Эти исследования создали предпосылки для разработки и испытаний опытных образцов медицинского аппарата с целью его регистрации в России.

Кроме этого, в США на основе лазеров от IPG Photonics в компании «Relient» была осуществлена разработка и начат серийный выпуск коммерчески успешных аппаратов «Fraxel» для «омоложения» кожи методом фракционного фототермолиза. Это, а также успешное прохождение НТО «ИРЭ-Полюс» кризисных лет создало предпосылки для возобновления в 2007г. работ в медицинском направлении.

Наряду с совершенствованием семейства «ЛСП-«ИРЭ-Полюс», в результате которого в 2013г. была проведена его перерегистрация, и

**Табл.1. Характеристики семейства аппаратов «Fiberlase-U» в сравнении с зарубежными аналогами**

Аппарат	Lumenis Pulse 120H	Vela-XL	FiberLase U1 (Urolas)	FiberLase U2	FiberLase U3
λ, мкм	2.1	1,94	1,94+1,55	1.94	
Активная среда	АИГ:Но	Волокно с Tm	Волокно с Tm + волокно с Er	Волокно с Tm	
Мощность, Вт	120	120	120+15	40 (400имп.)	60 (500имп.)
Режим	Импульсно-периодический	CW, Импульсно-периодический	CW, Импульсно-периодический	CW, импульсно-периодический	
Охлаждение	Водяное	Водяное	Воздушное		
Масса, кг	245	150	38		
Габариты, см	47x116x105	30x95x105	55x46x29		
Питание	220В, <46А	220В, <16А	220В, <10А		
Страна	Lumenis Израиль – США	StarMedTech, Германия	«ИРЭ-Полус», Россия		

продолжением сотрудничества с врачами началась подготовка создания на основе работ *Н.Фрида* мощного аппарата для урологии. Тем более, что к этому времени на основе созданного в немецкой IPG-Laser GmbH лазерного модуля на основе тулий-активированного волокна компанией «StarMedTech» (Германия) была разработана установка «Vela-XL».

В 2011г. была предпринята единственная попытка получить государственное финансирование. Однако проект создания лазерной установки, существенно превосходящей зарубежные аналоги, на финансирование которого было запрошено 60 млн руб., принят не был. Поэтому разработка аппарата была начата за счет собственных средств. В результате в 2017г. был зарегистрирован двухволновый аппарат «Уролаз», который в дальнейшем был перерегистрирован под названием «Fiberlase-U1» и положил начало семейству аппаратов для

урологии «Fiberlase-U». Представленные в **табл.1** характеристики аппаратов семейства наглядно показывают преимущества по сравнению с зарубежными аналогами.

Успешное продвижение любого медицинского аппарата невозможно без активного участия врачей. И большой удачей в нашем случае стало начало сотрудничества с медиками Института урологии и репродуктивного здоровья человека Сеченовского университета *А.З.Винаровым*, *А.М.Дымовым* и *Н.И.Сорокиным*, которые и осуществили клинические испытания разработанного аппарата. Именно с ними и с сотрудниками Института фотонных технологий был разработан эффективный метод гидродинамического рассеяния мягких биотканей [9]. В дальнейшем к этой работе присоединились другие сотрудники института. В результате исследований были наглядно показаны преимущества использования таких аппаратов при литотрипсии [10]



**Рис.2** Вид аппаратов «FiberLase U1-U3» (а), «FiberLase U-MAX» (б), «Pulse 120H» (в) и «Vela-XL» (с).

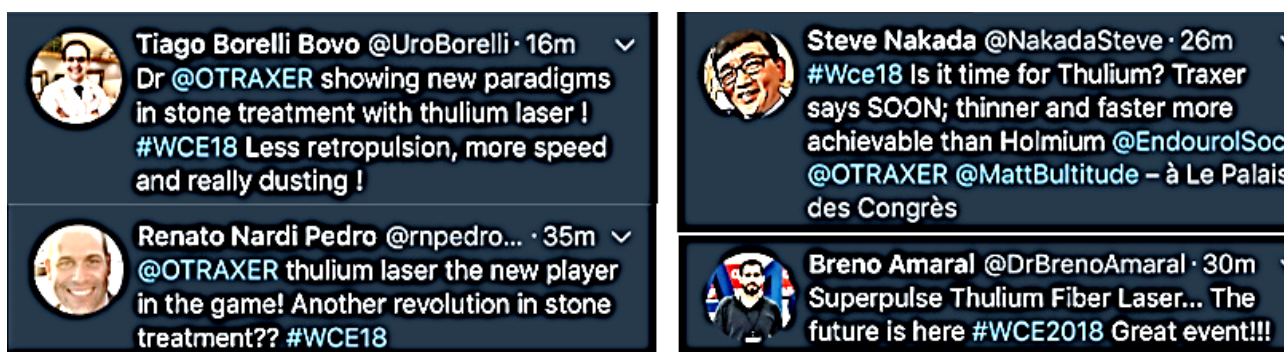


Рис.3 Отзывы об аппаратах для урологии на основе лазеров с тулий-активированным волокном.

Учитывая, что создаваемые аппараты потенциально имели конкурентное преимущество на мировом уровне, с целью выхода на мировой рынок было укреплено медицинское направление в IPG – в США в 2015г. была создана компания «IPG-medical» во главе с Г.Б.Альтшулером, имеющим большой опыт разработки и продвижения на рынок лазерной медицинской аппаратуры. Одновременно произошло усиление отдела во Фрязино, где и осуществляются основные разработки и производство медицинской аппаратуры.

В аппаратах «FiberLase U2» и «FiberLase U3» используется суперимпульсный режим, позволяющий без увеличения веса и габаритов увеличить пиковую мощность, обеспечивая более высокую эффективность при литотрипсии, для которой и предназначены эти аппараты. В это семейство входит лазерная платформа для урологии «FiberLase U-MAX», которая обладает увеличенной мощностью и сочетает в себе все преимущества аппаратов семейства, имеет ряд возможностей «ассистента хирурга», существенно облегчающих работу врачей. Выполнен аппарат в напольном исполнении, имеет габариты 115x60x35 см и вес 90 кг.

Фотографии аппарата «FiberLase U1-U3» и «FiberLase U-MAX» представлены на рис.2 в сравнении с аппаратами «Pulse 120H» от «Lumenis» и «Vela-XL» от «StarMedTech».

Важную роль в разработке методов литотрипсии, в частности, метода микроперкутанной лазерной нефролитотрипсии [11] с использованием аппаратов «FiberLase U» сыграл А.Г.Мартюков из Городской клинической больницы им. Д.Д.Плетнева ДЗО Москвы, профессор ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА.

Выход на зарубежный рынок потребовал привлечения урологов, имеющих мировой авторитет. Основную роль в этом направлении сыграл профессор из Сорбонского университета в Париже Оливье Траксер [12]. В итоге к настоящему моменту созданные для урологии аппараты оценены не только врачами России и стран СНГ. Для примера на рис.3 приведены из твиттера О.Траксера 2018г. несколько отзывов зарубежных урологов.

Аппараты семейства поставляются в Индию. Кроме этого, компании «Raykeen» в КНР и международная корпорация «Olimpus» выпускают аналоги аппаратов семейства «FiberLase U» на основе лазерных модулей, выпускаемых в «ИРЭ-Полюс». Появляются на рынке конкуренты, старающиеся повторить аппараты от IPG, поскольку лазеры на тулий-активированном волокне выпускают и другие компании.



Рис.4 Аппараты «FiberLase VT» (сверху) и «FiberLase CR» (снизу).

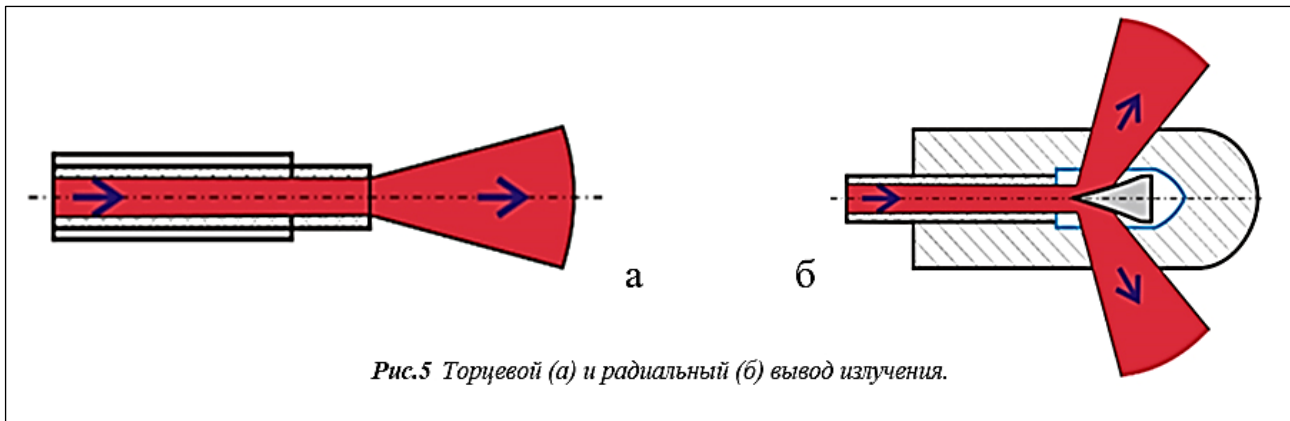


Рис.5 Торцевой (а) и радиальный (б) вывод излучения.

Табл.2 Сравнительные характеристики аппаратов «FiberLase DG» и «Мелаз-С»

	«FiberLase DG»	«Мелаз-С»
Длина волны, мкм	3,05...3,2	2,94
Максимальная мощность, Вт	20	10
Масса аппарата, кг, не более	10	40
Габарита аппарата, см	31x42x25±4	50x30x70

В это же время в «ИРЭ-Полюс» продолжают работы и в другом направлении. В частности, на базе семейства аппаратов «ЛСП-«ИРЭ-Полюс» разработано и прошло регистрацию семейство аппаратов «Medlase», в рамках которого выпускаются двухволновый аппарат «Fiberlase-S» (0,97мкм/30Вт + 1,55мкм/15Вт) для хирургии и эндовенозной лазерной коагуляции варикозно расширенных вен (ЭВЛК) и «Fiberlase-VT» (1,94мкм/10Вт). Фотография последнего представлена на **рис.4** (сверху). Именно аппараты с длиной волны 1,94 мкм благодаря своей эффективности становятся наиболее популярными для ЭВЛК [13].

В несколько ином конструктиве (**рис.4**, снизу) выпускается двухволновый аппарат «Fiberlase-CR» (0,98 мкм/25 Вт + 1,55 мкм/10 Вт) для противоболевой терапии и регенерации хрящевой ткани. При этом каждое из излучений выводится по своему каналу.

Поскольку эксплуатация лазерных медицинских аппаратов, производимых Объединением, невозможна без использования качественного волоконного инструмента, было организовано его производство. Производство используемого для этого оптического волокна из «сухого» кварца с наиболее популярным покрытием из тефзеля также организовано в «ИРЭ-Полюс». Выпускаются инструменты с диаметром светонесущей сердцевины от 150 до 940 мкм с торцевым и радиальным выводом излучения (**рис.5**).

Важно, что в Объединении от штучной, мало-серийной сборки перешли к серийному производству и медицинских аппаратов, и волоконного инструмента, обеспечивающему выпуск

десятков аппаратов и тысяч волоконных инструментов в месяц, в том числе для поставок на экспорт. Кроме этого, усилена работа по контролю качества выпускаемой медицинской продукции.

Проводимые в объединении разработки новых лазерных устройств создают основу для создания на их основе новых

медицинских аппаратов, превосходящих существующие аналоги. К этим разработкам относится линейка VLM лазерных модулей видимого диапазона на основе волоконных лазеров с преобразованием излучения во вторую гармонику на основе кристаллов с регулярной доменной структурой (РДС) [14], генерирующих излучение с длинами волн 0,54; 0,56; 0,59; 0,62 и 0,66 мкм с максимальной мощностью более 10Вт [15].

Также на основе нелинейных кристаллов с РДС были созданы параметрические генераторы [16], обеспечивающие генерацию с актуальной для медицины длиной волны излучения вблизи 3 мкм (максимум поглощения излучения в воде). На их основе в конструктиве «MedLase» разработан и прошел регистрацию аппарат «FiberLase DG», характеристики которого существенно превышают аналоги с традиционными лазерами на кристаллах АИГ:Ег. В **табл.2** характеристики этого аппарата приведены в сравнении с характеристиками разработанного в Сибирском лазерном центре (Новосибирск) аппаратом «Мелаз-С».

Успешному продвижению на рынке кроме современной организации производства способствует и маркетинговая политика, включающая привлечение компаний-дилеров и организацию с ними участия в выставках и проведении в московском офисе информационно-обучающих семинаров для врачей. Помимо проводимых презентаций сотрудников «ИРЭ-Полюс» и ведущих медицинских учреждений в рамках семинаров осуществляются «он-лайн» трансляции из операционных, в которых проводятся операции с использованием выпускаемого оборудования.

Хороший отклик имела экскурсия врачей-слушателей семинара по флебологии во Фрязино, во время которой их познакомили с участками производства лазерных аппаратов и волоконного инструмента.

Естественно, продолжается сотрудничество с наиболее авторитетными врачами России и зарубежья в части совершенствования методик применения лазерной аппаратуры.

Вот таким образом НТО «ИРЭ-Полюс» успешно развивает медицинское направление.

## Литература

- [1]. *В.П.Гапонцев, В.П.Минаев, В.И.Савин, И.Э.Самарцев.* Медицинские аппараты на основе мощных полупроводниковых и волоконных лазеров. // *Квантовая электроника*, 32, №11 (2002), с.1003-1006
- [2]. Лазерная септохондрокоррекция. Медицинская технология, рег.удостоверение №ФС-2005/030.
- [3]. Лазерная реконструкция дисков. Медицинская технология рег. удостоверение №ФС -2006/025.
- [4]. Применение лазерного излучения с длиной волны 0,96-0,98 мкм при пункционном лечении дискогенных форм дегенеративно-дистрофических форм позвоночника. Медицинская технология, разрешение ФС №2011/338.
- [5]. Лазерная остеоперфорация в лечении остеомиелита. Медицинская технология № ФС-2007/181.
- [6]. *N.M.Fried, K.E.Murray.* High-Power Thulium Fiber Laser Ablation of Canine Prostate. *Proc. Of SPIE Vol. 5686 (2005) pp.176-182. Doi: 10.1117/12.586358.*
- [7]. *N.M.Fried, K.E.Murray.* New Technologies in Endourology. High-Power Thulium Fiber Laser Ablation of Urinary Tissues at 1.94  $\mu\text{m}$ . // *Journal of*

*Endourology.* V.19, No 1, 2005, pp25-31.

[8]. *N.M.Fried.* Thulium Fiber Laser Lithotripsy: An In Vitro Analysis of Stone Fragmentation Using a Modulated 110-Watt Thulium Fiber Laser at 1.94  $\mu\text{m}$ . // *Lasers in Surgery and Medicine* 37:53–58 (2005). DOI 10.1002/lsm.20196.

[9]. *В.П.Минаев, Н.В.Минаев, В.И.Юсупов и др.* Эффект лазерно-индуцированного гидродинамического рассеечения биоткани в оперативной урологии. // *Квант. электроника*, 2019, 49 (4), 404–408.

[10]. *Л.М.Рапопорт, А.З.Винаров, Н.И.Сорокин и др.* Экспериментальное обоснование тулиевого литотрипсии. // *Урология*, 2018, №5, с.105-111.

[11]. *А.Г.Мартов, С.В.Думов, С.В.Попов и др.* Микроперкутанная лазерная нефролитотрипсия. // *Урология*, 2019, №2, с.76-83.

[12]. *O.Traxer, M.Corrales.* Managing Urolithiasis with Thulium Fiber Laser: Updated Real-Life Results—A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 3390. <https://doi.org/10.3390/jcm10153390>.

[13]. *V.Y.Bogachev, K.A.Kaperiz, V.P.Minaev.* Comparative study of the endovenous laser coagulation with 1.47 and 1.94  $\mu\text{m}$  clinical efficacy. / *International Conference Laser Optics (ICLO)*, 2022, doi: 10.1109/ICLO54117.2022.9840149.

[14]. *Шур В.Я., Батулин И.С.* // *Лазер-Информ* №8 (455), 2011, с.6-8.

[15]. *Суринов А.А., Борисенко Т.Е., Смирманов Ю.С. и др.* Линейка мощных непрерывных лазеров видимого диапазона VLM с мощностью излучения от 1,5 до 20 Вт в диапазоне 513-730 нм. / *Лазер-Информ* № 11-12 (626-627) июнь 2018, с.5-8.

[16]. *Larionov I.A., Gulyashko A.S., Alekseev D.A., et.al.* High-efficient DFG of fiber lasers radiation in the spectral region of 3 $\mu\text{m}$  for soft tissue ablation. / 6th International Symposium on Lasers in Medicine and Biophotonics, at ICLO 2020. November 1st-5th. On-line.

## ПИСЬМА КОЛЛЕГАМ

### Измеряйте правильно!

*В.Н.Крутиков, д.т.н., гл. н. с. ВНИИОФИ, Москва*

Активизация использования лазерного оборудования в различных областях человеческой деятельности влечет за собой увеличение числа измерений параметров лазерного излучения. При этом, к сожалению, нередко методологические ошибки, приводящие к неправильному толкованию получающихся результатов, хотя для обеспечения точности любых измерений и единства понимания их результатов в России сформирована достаточная эталонная и нормативно-метрологическая база. В России действует федеральный закон от 26 июня 2008г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства из-

мерений». Правильность измерений подразумевает, прежде всего, соблюдение единства измерений – они должны выполняться по установленным правилам, а результаты должны быть выражены в установленных единицах измеряемых величин.

Единицы измерения величин устанавливаются для обеспечения сопоставимости результатов измерений конкретных величин (больше/меньше, тяжелее/легче, длиннее/короче и т.д.). Поэтому грамотное использование установленных единиц измерений величин позволяет человеку правильно ориентироваться в

окружающем его мире. В России единицы измерения величин установлены постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009г. № 879.

Тем не менее люди, выполняющие измерения, часто игнорируют действующие метрологические нормы и правила, что приводит к ошибочным результатам. Обычно такие ошибки происходят при косвенных измерениях, когда для получения результата измерений используется известная формула, в которую подставляются значения входящих в формулу величин, предварительно полученных тем или иным путем. При выполнении таких вычислений иногда упускается тот факт, что используемые формулы имеют «размерный» характер – иными словами, сами формулы и входящие в них члены имеют размерность соответствующих единиц измерения величин. Использование при этом, не задумываясь, правил «абстрактной» математики – математики безразмерных величин часто приводит к искажению физического смысла формулы и неверным результатам.

Вот несколько примеров таких ошибочных действий при измерениях энергетических характеристик лазерного излучения.

#### **Измерение мощности импульсного лазерного излучения**

В качестве исходной обычно используется известная формула: для вычисления мощности  $P$ :

$$P = \frac{q}{t} \quad (1)$$

где:  $q$  – энергия [Дж],  $t$  – интервал времени, в течение которого данная энергия выделилась [с].

В нашей стране и за рубежом единицей измерения мощности является Ватт [Вт], который определяется, как один Джоуль энергии, выделенный (произведенный) системой за одну секунду, коротко  $1\text{Вт} = 1\text{Дж}/1\text{с}$ . Мощность той или иной системы равна количеству выделенной (произведенной) ею энергией за одну секунду. Соответственно, мощность лазерного излучения, выражаемая в ваттах (не важно, непрерывного или импульсного), определяется как энергия, выделенная (произведенная) лазерной системой за одну секунду.

Казалось бы, все конкретно, понятно и просто. Однако, при измерениях мощности импульсного лазерного излучения некоторые ученые (в т.ч. маститые) нарушают установленные правила определения мощности, выражаемой в ваттах. Используя формулу (1) для определения мощности, они, не задумываясь, делят определенную тем или иным путем энергию излучения в импульсе на длительность импульса. Иными словами, относят энергию импульса не к секунде, а к длительности импульса. Полученный результат при этом выражают почему-то в ваттах.

Например, определяют мощность лазерного

импульса длительностью  $t=10^{-10}$  с и энергией  $q=10^{-1}$  Дж. Эти значения подставляют в формулу (1) и получают:

$$P = \frac{10^{-1}\text{Дж}}{10^{-10}\text{с}} = \frac{10^{-1}\text{Дж} \times 10^{10}}{1\text{с}} = 10^9\text{Вт} \quad (2)$$

При этом совершены сразу две метрологические ошибки. Во-первых, энергия импульса ошибочно отнесена к длительности импульса, а не к секунде. Поэтому результат таких измерений незаконно выражен в ваттах. Во-вторых, знаменатель в (1) имеет размерность времени [с]. Несмотря на это часть знаменателя  $10^{-10}$  объявляется безразмерной величиной и перемещается в числитель. В результате чего реальная энергия импульса ошибочно увеличивается в десять миллиардов раз.

Когда спрашиваешь у людей, приводящих такие цифры, о мощности, потребляемой лазером, генерирующим эти гигаваттные импульсы, возникает «немая сцена». Действительно, трудно объяснить, как система, потребляющая несколько десятков ватт, вырабатывает гигаватт мощности. Как сопоставить полученный таким образом гигаватт, например, с мощностью турбины Саяно-Шушенской ГЭС, составляющей 700 МВт.

Фактически объяснить парадокс нетрудно. Нарушено правило представления результатов измерений в ваттах. Правильно следует считать, сколько джоулей генерируется за одну секунду. Если, например, импульс одиночный, то в рассматриваемом случае мощность излучения составляет  $P = 10^{-1}\text{Вт}$ . Если процесс генерации импульсов периодический, например  $f = 100$  Гц, то получим  $P = f \times q = 10\text{Вт}$ . Вот эти результаты сопоставимы с правильно измеренной и выраженной в ваттах мощностью других систем.

Чтобы выйти из сложившейся неудобной ситуации, некоторые «маститые» ученые говорят, что это другая мощность. Начинают придумывать собственные определения мощности лазерных импульсов, например, «мощность в импульсе» и (или) «пиковая мощность».

Во-первых, таких единиц измерения мощности в метрологии еще нет, а, во-вторых, единица мощности Ватт уже занята (Дж/с). Поэтому использование названия уже законодательно установленных единиц измерений для присвоения их другим, произвольно придуманным единицам измерений, незаконно. Это нарушает основной смысл обеспечения единства измерений – сопоставимость результатов измерений и дезориентирует пользователей и инвесторов.

#### **Измерение облученности тела и плотности энергии, или мощности падающего на поверхность тела лазерного излучения**

Облученность – отношение потока излучения, падающего на участок поверхности, к площади

этого участка. При измерениях облученности часто используется формула (3), известная еще из школьной физики, применяемая для определения энергии  $Q$ , необходимой для нагрева объекта массой  $m$  на температуру  $\Delta T$ :

$$Q = m \times U \times \Delta T \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – изменение температуры объекта, нагреваемого, например, лазерным излучением ( $^{\circ}\text{K}$ );  
 $m$  – масса нагреваемого объекта (кг.);  
 $U$  – удельная теплоемкость материала, из которого изготовлен объект (Дж/кг.  $^{\circ}\text{K}$ ).

Например, требуется определить облученность (Дж/см<sup>2</sup>) поверхности металлической пластины площадью  $S$ , толщиной  $d$ .

Масса  $m$  такой пластины равна:

$$m = r \times S \times d \quad (4)$$

где:  $r$  = удельная плотность массы материала, из которого изготовлена пластина [кг/м<sup>3</sup>].

Если для нагревания объекта массой  $m$ , используется лазерное излучение, то следует учитывать коэффициент поглощения  $k < 1$  излучения поверхностью нагреваемого объекта. В этом случае формула (3) с учетом (4) примет вид:

$$Q = \frac{1}{k} \times r \times S \times d \times U \times \Delta T \quad (5)$$

Процесс нагрева объекта массой  $m$  является динамическим процессом, в котором нагрев одновременно сопровождается остыванием за счет различных механизмов теплоотдачи. Это следует учитывать при измерении энергетических характеристик лазерного излучения.

При использовании метода нагрева для измерения энергии импульсного излучения необходимо достаточно точно определять момент, когда остывание начнет превалировать над нагревом. Поэтому при нагреве лазерным им-

пульсом необходимо тщательно подбирать массу нагреваемого объекта, чтобы имелась возможность определять начало этого переходного момента. Это, в свою очередь, позволяет правильно измерить температуру нагрева контрольного объекта.

Тоже все вроде бы понятно и просто. Тем не менее, некоторые исследователи, видимо для облегчения своей жизни, вновь демонстрируют знания правил «абстрактной» математики. Для определения плотности энергии  $Q_s$  лазерного излучения, они делят обе стороны выражения (5) на площадь  $S$ . В итоге, выражение (5) приобретает вид:

$$Q_s = \frac{1}{k} \times r \times d \times U \times \Delta T \quad (6)$$

Получается, что плотность энергии излучения  $Q_s$  не зависит от площади нагреваемой поверхности. Люди спокойно используют выражение (6), не задумываясь, что оно потеряло физический смысл. Ведь  $r$  является характеристикой единицы объема  $V = d \times S$ , а без площади объема нет. К какому объекту, в этом случае, относится измеряемая температура, которую надо подставлять в формулу (5)? Ответа нет и быть не может.

А если при этом еще такую плотность энергии лазерного излучения поделить на длительность импульса, то, как говорил *А.И.Райкин*: «у нас на заборах вместо воробьев индюки сидеть будут».

В общем, ошибка результата таких измерений может составлять 1000% и более.

Приведенные примеры показывают, как опасно не задумываясь применять правила «абстрактной» математики при использовании размерных выражений для определения результатов измерений.

Уважаемые читатели, собираясь измерять, не спешите. Измеряйте правильно!

## ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

### Дефицит кадров: промышленникам предлагают самостоятельно готовить себе рабочих и инженеров

*Промышленники недовольны уровнем подготовки выпускников высших и средних учебных заведений. Власти предлагают им самостоятельно готовить для себя кадры. Однако не все предприятия готовы вкладывать в такое обучение деньги. Они хотят, чтобы государство компенсировало им затраты.*

#### Работодатели недовольны соискателями

По данным рекрутингового онлайн-сервиса SuperJob, две трети (64%) российских компаний берут на практику стажёров. Однако только треть компаний в результате становятся работодателями хотя бы для части этих стажёров. Главная причина — крайне низкий уровень квалификации соискателей: 57,7% отказов работодателей в 2022 году было связано именно с

этим, подсчитали в совместном исследовании аналитики hh.ru и облачной CRM для рекрутмента Talantix.

В 2021 году из-за низкого уровня навыков и компетенций соискателей предприятия отказали в трудоустройстве 52,6% из них.

Да и сами студенты не очень довольны своими знаниями: учащиеся вузов и ссузов по итогам 2022 года оценили качество образования в



своих учебных заведениях примерно в 3,6 балла из пяти, отмечают в hh.ru. Из-за низкого уровня подготовки промышленные предприятия не готовы принимать выпускников на работу, несмотря на острый дефицит кадров.

### Оторваны от реального производства

«Всё это из-за того, что студенты оторваны от производства, им нужно больше бывать на предприятиях, выходить на практику с первых курсов», – считает директор СПб ГКУ «Организатор перевозок» *Александра Бахмутская*. «Даже когда я общаюсь со стажёрами-бакалаврами, часто у меня возникают большие сомнения в уровне их компетенций», – поделилась она в ходе круглого стола 21 июня с.г. на Международном военно-морском салоне в Кронштадте.

«Нужно создать систему, в которой предприятия будут привлекать школьников на рабочую практику, а студентов вузов и колледжей — на стажировку», – согласна с ней *Нина Мельник*, директор Учебного центра производственного холдинга «Кингисеппский машиностроительный завод» (КМЗ). Она рассказала, что в Центре, который был открыт в 2021 году, мастера завода в качестве наставников обучают студентов и даже школьников, которые потом поступают в профильные учебные заведения и приходят работать на КМЗ. Таким образом, предприятие получает мотивированных специалистов с нужными компетенциями.

С аналогичной идеей недавно выступил и президент *Владимир Путин*. «Работодатель за свой счёт отправляет сотрудника учиться или повышать квалификацию. А работник, в свою очередь, получает гарантию трудоустройства на более квалифицированное рабочее место», — заявил он на пленарном заседании Петербургского международного экономического форума и поручил кабмину проработать этот механизм.

### Зачем завод платит налоги?

Однако далеко не все предприятия готовы тратить деньги на обучение сотрудников, многие отказываются брать на стажировку студентов: это дополнительные расходы, которые компании никто не компенсирует. Поэтому стажировки часто проходят формально, профессиональных навыков студенты не получают.

Промышленники заинтересованы в квалифицированных кадрах, но государство не должно перекладывать на них свои обязанности по воспитанию этих кадров, уверен *Евгений Горин*, исполнительный вице-президент Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга. Он рассказал, что в феврале с.г. было совещание у вице-губернатора Петербурга *Ирины*



*Потехиной*, где речь шла о проведении ежегодных конкурсов лучших по профессии. На совещании говорилось, что предприятия для этого должны предоставить оборудование, людей, программу конкурса составить — в общем, всё сделать. «Вы что, хотите корову забить до конца, чтобы она умерла? За счёт чего предприятия должны всё это делать?» — недоумевает *Евгений Горин*. По его мнению, обязанность завода — платить налоги, которые государство использует в том числе и для обучения специалистов.

С ним согласны представители компании «Топ баланс», которая опасается допускать стажёров к работе, чтобы они не наделали ошибок. «Кто будет оплачивать нашим сотрудникам дополнительную работу по поиску и устранению этих ошибок? С какой стати мы должны недополучать прибыль, отрывая сотрудника от работы для наставничества со студентом, который потом не придёт трудоустроиваться в нашу компанию?» — рассуждают в «Топ балансе».

«Учебные заведения должны готовить специалистов с учётом потребностей предприятий, поэтому и программы обучения нужно писать совместно, и само обучение должно проходить и в вузе, и на производстве, — считает *Алексей Васильев*, декан факультета корабельной энергетики и автоматики Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. — Государство вместе с вузами, колледжами и промышленниками должно разработать механизм мотивации, чтобы предприятиям было выгодно развивать программы наставничества и повышения квалификации сотрудников, а учебным заведениям — сотрудничать с производством».

Участники круглого стола намерены изложить свои предложения на этот счёт в резолюции и направить её в Правительство РФ.

*О.Мягченко,*

<https://mashnews.ru/deficit-kadrov-promyshlennikam-predlagayut-samostoyatelno-gotovit-sebe-rabochix-i-inzhenerov.html>

## Lockheed Martin увеличила мощность лазерной пушки до 500 кВт

Около года назад американская военно-промышленная компания Lockheed Martin передала Пентагону для испытания в полевых условиях лазерную установку HELSI мощностью 300 кВт. На тот момент она была самой мощной из тех, что стоят на вооружении армии и флота США. Теперь действие этого лазера стало еще более разрушительным.

Лазерное оружие, способное поражать цели со скоростью света, с потенциально неограниченным боекомплектом и низкой стоимостью выстрела, давно привлекает военных. Однако разработать действительно полезные на поле боя модели оказалось непросто. Практичное лазерное оружие должно быть достаточно легким, компактным, надежным и мощным, рассказывает New Atlas.

Lockheed Martin разрабатывает прототипы лазерной пушки в рамках проекта HELSI, инициативы по масштабированию высокоэнергетического лазера, с 2019 года. Инженерам удалось снизить массу и объем установки непрерывного излучения, увеличив мощность начала до 300, а затем и до 500 кВт.

В прошлой версии пучок лучей генерировался с помощью оптоволокна, активированного иттрий-алюминиевым гранатом, легированным неодимом. Систему дополняли лазерные целеуказатели и лазер для измерения атмосферных помех. Все они вместе с боевым лазером были соединены с системой управления боем, отслеживающей и оценивающей потенциальные цели и определяющей уровень угрозы.

Сложность состояла в том, чтобы увеличить мощность оружия, не снизив его способность



сочетать несколько пучков света в спектре, и не нарушить требования заказчика, Министерства обороны, по функциональной совместимости и возможности применения в миссиях различного типа. Тем не менее, Lockheed Martin справилась с задачей, разработав лазер мощностью 500 кВт, способный уничтожать более крупные, прочные и маневренные цели.

<https://www.nanonewsnet.ru/news/2023/lockheed-martin-uvlechila-moshchnost-lazernoi-pushki-do-500-kvt>

\* \* \*

## Военный эксперт назвал новый лазерный комплекс США угрозой для России

Американская компания Lockheed Martin разработала прототип лазерного комплекса противовоздушной обороны, который может представлять серьезную угрозу для России, рассказал в беседе с ИА SM.News военный аналитик и обозреватель *Алексей Васильев*. Он предположил, что уже через два-три года новая техника выйдет в серийное производство, и рассказал об опасности недооценки этого оружия.

Противник выкатил уже не просто лазерную систему от летающей мелочи, а вполне полноценную установку ПВО малой дальности. 500 кВт в луче — это очень серьезно. Следующий ход будет — «ерунда, сделаем зеркальное напыление, лазер будет не страшен». Вот только в первые микросекунды даже мизерная часть энергии уничтожает слой покрытия, и дальше оно уже не работает, — предупредил эксперт.

Он спрогнозировал, что новое лазерное устройство сможет успешно работать по противотанковым и противокорабельным управляемым ракетам, а развитие мобильных платформ позволит организовать противоракетную оборону для авиации против ПЗРК. В связи с этим специалист призвал отнестись к этой американской разработке максимально серьезно, продумав меры противодействия.

Ранее представители Минобороны Великобритании заявили, что новая версия российского ударно-разведывательного вертолета «Аллигатор» Ка-52М и его предшественник Ка-52 являются серьезной угрозой для украинской армии.

<https://news.ru/usa/voennyj-ekspert-nazval-novyj-lazernyj-kompleks-ssha-ugrozoj-dlya-rossii/>

## Вниманию отечественных пользователей ЛТУ!

Многие отечественные пользователи технологических лазеров, включая лазерные мастерские («job-shops»), испытывают сегодня большие трудности с получением запасных частей и сменных компонентов для своих «не новых» технологических установок, т.к. некоторые отечественные уже давно не выпускаются, а с производителями западной техники стало трудно контактировать. В то же время в ряде наших лазерных компаний имеются неликвиды такого оборудования в виде неработающих ЛТУ или вполне пригодных к употреблению отдельных частей ЛТУ. Продать их на Авито, как утверждают обладатели таких неликвидов, сложно, поэтому возникло предложение: разрешить членам ЛАС использовать «Лазер-Информ» для объявлений о наличии комплектующих лазерного технологического оборудования (а может быть, и не только технологического). Кроме пользователей ЛТУ эти сведения могут быть полезны и разработчикам опытных образцов и экспериментальных стендов. В объявлении будут указываться контакты продавца, и все взаимодействия с ним заинтересованных лиц должны вестись уже напрямую, без всякого посредничества ЛАС.

*В качестве пробного шара публикуем перечень оптических элементов для технологических лазеров, которые можно приобрести, обратившись по электронной почте <[gouravel@yandex.ru](mailto:gouravel@yandex.ru)> или тел. (903) 732-10-72*

### Оптические элементы для технологических лазеров

№	Наименование, характеристики	Материал	Размеры, мм	Кол-во	Примечание
1	Линза, диаметр – 1.1", F–2,5", в оправе	ZnSe (11- V1)	д. 28, толщ. 3	1	Производ. США, AR покрытие
2	Линза, диаметр – 1.1", F–10,0", в оправе	ZnSe (11-V1)?	д. 28, толщ. 3	2	Производ. США, AR покрытие
3	Линза, диаметр – 1.1", F–5,0"	ZnSe (11-V1)	д. 28, толщ. 3	1	Производ. США, AR покрытие
4	Линза, диаметр – 2.0", F–2,5"	ZnSe (11-V1)	д. 51, толщ. 6	1	Произв. США, AR покрытие нарушено
5	Выходное окно в оправе, Д 85 мм	ZnSe (11-V1)	д. 30, толщ. 4-5	2	Произв. США
6	Резонаторное заднее зеркало, R 99,7, покр. – Au	Mo	д. 51, толщ. 7-8	1	Произв. США
7	Резонаторное поворотное зеркало, R99,7, покр. – Au	Si	121,4x74,3, толщ. 13,4	1	Произв. США
8	Поляризатор	Si	д. 51, толщ. 10	1	Произв. США
9	Резонаторное поворотное зеркало R99,7, покр. – Au	Si	д. 51, толщ. 12	1	Произв. США
10	Поворотное зеркало для резака R99,7, покр. – Au	Mo	д. 51, толщ. 10	1	Произв. США
11	Зеркальный асферический резонатор F-200 мм	Mo	Д100-110мм	1	Произв. ФРГ
12	Выходное окно в оправе Д 75мм, спец. для ТО для равномерн. распределения	ZnSe (11-V1)	д. 28, толщ. 4-5	1	Произв. США, для ТО с пятном д. 5мм с другим коэф. отр.
13	Резонаторное заднее зеркало R99,7 покр. – Au, в сборе	Mo или Si	Д30, толщ10	2	Произв. США
14	Выходное зеркало в сборе	ZnSe (11-V1)	Д42-44 толщ5-6	1	Произв. США
15	Проволока для герметизации оптики	In	Д 1мм		Произв. США
16	Зеркало	MoB	Д 44x10	1	Доп. №9 покр. Au

17	Зеркало сфер.	МоБ	Д 70x15	1	Доп. №16 покр. Au
18	Зеркало	МоБ	Д 70x15	1	Доп. №19 покр. Au*
19	Зеркало сфер. R11745	МоБ	Д 64x10 с, отв. д.3	1	Доп. №21 покр. Au*
20	Зеркало	МоБ	Д 68x10, согв. Д.25.	1	Доп. №22 покр. Au
21	Зеркало разрезное	МоБ	Д 77x17	1	Доп. №25 покр. Au
22	Зеркало	МоБ	Д 150x20	1	Доп. №26 покр. Au*
23	Зеркало	МоБ	Д 200x40	1	Доп. №32 покр. Au
24	Зеркало	МоБ	150x110x19		Доп. №36 покр. Au, охлаждаемое
25	Зеркало сфера	МоБ	130x110x15	1	Доп. №39, покр. Au
26	Зеркало сфера R1500	МоБ	120x120x20	1	Доп. №48, покр. Au
27	Зеркало	МоБ	Д 66x10	1	Доп. №58, переполитр.
28	Зеркало	МоБ	100x40x10	4	Доп. №59 покр. Au
29	Зеркало	МоБ	50x40x10	3	Доп. №60 покр. Au
30	Зеркало	МоБ	Д 30x10	2	Доп. №63 покр. Au
31	Зеркало	МоБ	Д 66x8	1	Доп. №70 покр. Au
32	Зеркало	ZnSe	Д 120x10	1	Доп. №3 N3, N0,3 R <sub>a</sub> 0,3% R <sub>b</sub> 45%
33	Пластина п/п	ZnSe	Д 120x10	1	Доп. №4 N 3, N0,3
34	Пластина п/п	ZnSe	Д 120x10	3	Доп. №27-29 N5, N0,5
35	Пластина п/п	ZnSe	Д 150x15	1	Доп. №30, N 5, N0,5
36	Пластина п/п	ZnSe	Д 120x10	16	Доп. №31, N 5, N0,5
37	Зеркало	Si	Д 100x12	1	Доп. №23, политр.
38	Заготовка	Si	Д 108x19	1	Доп. №24
39	Заготовка	Si	28x15	1	Доп. №24
40	Зеркало	Si	Д 100x10,5	1	Доп. №69
41	Пластини п/п шлифов., уд. сопротивление не менее 1.10 <sup>7</sup> ом см, ориентация [100]	GaAs	Д 15x4,5	114	Доп. №65
42	Зеркало (окно)?	GaAs	Д 32x3	1	Доп. №66, уточн.
43	Пластини п/п –окна (зеркала)	GaAs	Д 12,5x3	40	Доп. №67 N 1, N02, уточн.
44	Зеркало	GaAs	Д 28x3,5	2?	Доп. №66, уточн.

«Лазер-Информ»  
Издание зарегистрировано в  
межведомственной комиссии  
МГСНД 26.12.91. Рег. № 281  
© Лазерная ассоциация.  
Перепечатка материалов и их  
использование в любой форме  
возможны только  
с разрешения редакции.

Отпечатано в НТИУЦ ЛАС  
Тираж 500 экз.

Главный редактор  
И.Б.Ковш  
Редактор Т.А.Микаэлян  
Ред.-издательская группа:  
Т.Н.Васильева  
Е.Н.Макеева

Наш адрес:  
117342, Москва, ул. Введенского, д.3, ЛАС  
Тел: (495)333-0022 Факс: (495)334-4780  
E-mail: info@cislaser.com  
http://www.cislaser.com  
Банковские реквизиты ЛАС:  
р/с 40703810538000006886  
В ПАО «Сбербанк» г.Москва  
к/с 30101810400000000225  
БИК 044525225