РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

'1
2022

- ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ: СОСТОЯНИЕ РЫНКА
- ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРАМИ С УЛЬТРАКОРОТКИМИ ИМПУЛЬСАМИ
- АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОСТАНОЧНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
- О ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

WIDIA

ВСЕГДА ГОТОВ К РАБОТЕ

ОТСКАНИРУЙТЕ И
УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ О ФРЕЗАХ WCE4

+7 (495) 995 09 68

АРТА®
ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ СТАНКИ И ТЕХНОЛОГИИ

www.edm.ru

ПЕРЕДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СОЗДАНО В РОССИИ

Высокие технологии

Современные системы ЧПУ, микропроцессорные генераторы собственной разработки, проведение НИОКР по созданию специального оборудования в области микроэрозии

Каждый станок АРТА производится в России

Официальное подтверждение Минпромторга РФ в рамках постановления Правительства Российской Федерации № 719 от 17.07.2015

Широкие возможности

Эффективное применение для широкого спектра задач электроэрозии: изготовление штампов, пресс-форм, инструмента, различных специальных изделий

Более 25 лет опыта

в разработке, в разработке, совершенствовании и изготовлении сложного прецизионного оборудования для электроэрозионной обработки материалов

Научно-Промышленная Корпорация «Дельта-Тест»

Россия, 141190 , Московская область, г. Фрязино,
территория Восточная Заводская промышленная, 4а

СОДЕРЖАНИЕ

10
Лазерные технологии: динамичное развитие /
Laser technologies: dynamic development

12
Растущий рынок, конкурентоспособные компании /
Growing market, competitive companies

18
Аппарат ручной лазерной сварки LightWELD 1500 от мирового лидера лазерной индустрии – IPG Photonics /
Manual IPG LightWeld 1500 Laser Welding System from the world leader in the laser industry – IPG Photonics

20
Обработка оптических материалов лазерами с ультракороткими импульсами / Ultrashort laser pulses machining of optical materials

28
Наука – реальному сектору экономики /
Science for the real economy

30
Электронно-лучевая сварка и смежные технологии: что нового? /
Electron beam welding and related technologies: what's new?

34
Автоматизация многостаночного обслуживания при выполнении контрактов ГОЗ / Automation of multi-machine maintenance during the execution of state defense contracts

40
К вопросу о подготовке инженерных кадров для машиностроения/
Engineering stuff training for mechanical engineering

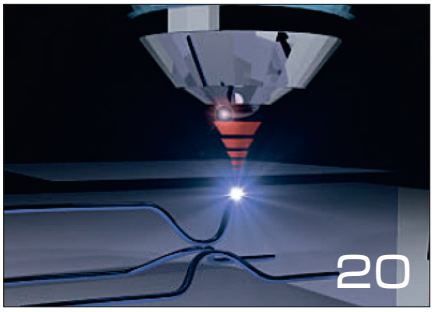


Фото на обложке из открытых источников

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»
директор О. Фалина
главный редактор М. Копытина
выпускающий редактор Т. Карпова
дизайн-верстка С. Куликова
руководитель проектов З. Сацкая

Отдел рекламы:
Е. Пуртова, Е. Ерошкина

консультант В.М. Макаров
consult-ritm@mail.ru

АДРЕС: 101000, Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с, пом. 1
т/ф (499) 55-9999-8 (многоканальный)
e-mail: ritm@gardesmash.com
https://www.ritm-magazine.com

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-63556.
(До 09.2015 журнал "РИТМ")
Тираж 10 000 экз.
Распространяется бесплатно на выставках и конференциях.

Перепечатка опубликованных материалов разрешается только при согласовании с редакцией. Все права защищены ®
Редакция не несет ответственности за достоверность информации в рекламных материалах и оставляет за собой право на редакторскую правку текстов. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

КОМПАКТНАЯ СИСТЕМА РУЧНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ И ОЧИСТКИ

LightWELD 1500 XC

Ширина шва в режиме Wobble
до 5 мм

Мощность лазера
до 1500 Вт

Пиковая мощность
до 2500 Вт

Вес
53 кг

Охлаждение
Воздушное

Размеры
641 x 316 x 534 мм

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ МАТЕРИАЛОВ И ТОЛЩИН

Свариваемые материалы

Металл	Толщина (односторонняя сварка)	Толщина (двухсторонняя сварка)
Нерж. стали	До 4 мм	До 10 мм
Оцинкованная сталь	До 4 мм	До 10 мм
Низкоуглерод. стали	До 4 мм	До 10 мм
Алюминиевые сплавы	До 4 мм	До 10 мм
Медь	До 1 мм	До 2 мм

Система ручной лазерной сварки LightWELD XC дополняет возможности серии LightWELD функцией очистки для быстрого и легкого удаления ржавчины, следов масел, покрытий перед сваркой, окалины, цветов побежалости после сварки. Система позволяет обеспечивать исключительные эстетические качества шва без потери времени и затрат на абразивы или химикаты.

Подробнее обо всех новинках вы можете узнать у наших консультантов по e-mail и телефону:

+7 (495) 968 99 32; lightweld.online@ntoire-polus.ru
www.lightweld-xc.ru

IPG IRE-POLUS®

КТО УПАДЁТ С БОЛИВАРА?

АССОЦИАЦИЯ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ» ЗАЯВИЛА НА 23–27 МАЯ ВЫСТАВКУ RIMTOS ПО МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ В «КРОКУС ЭКСПО». РОВНО В ЭТИ ЖЕ ДНИ В «ЭКСПОЦЕНТРЕ» ДОЛЖНА ПРОЙТИ ВЫСТАВКА «МЕТАЛЛООБРАБОТКА». ПРОКОММЕНТИРОВАТЬ ДЕЙСТВИЯ АССОЦИАЦИИ МЫ ПОПРОСИЛИ ЕЁ ПРЕЗИДЕНТА ГЕОРГИЯ САМОДУРОВА.

Георгий Васильевич, в 2010 году ассоциация «Станкоинструмент» сделала свой выбор. Содействие переводу титулованной выставки «Металлообработка» с двухгодичного в ежегодный календарь привело к вытеснению с рынка конкурирующей выставки MASHEX. Тогда это привело к консолидации и укреплению российского рынка металлообрабатывающих выставок, хотя до того ассоциация, как мы помним, поддерживала обе названные выставки. И вот теперь ассоциация объявляет металлообрабатывающую выставку в те же сроки, что и «Металлообработка». Строго говоря, в русском языке это называется словом «раскол».

Чтобы содержательно ответить на ваш вопрос, позвольте продолжить ваш экскурс в историю. Выставку «Металлообработка» организовал в 1984 году Минстанкопром СССР на площадях ВО «Экспоцентр» с периодичностью раз в четыре года. С тех пор выставка окрепла, вошла в десятку ведущих металлообрабатывающих смотров мира, получила знак Всемирной ассоциации выставочной индустрии UFI, поддержку Минпромторга и патронат ТПП РФ. На протяжении всего времени бессменным соорганизатором выставки был Минстанкопром СССР, а затем ассоциация «Станкоинструмент» как своего рода идеологический преемник министерства. Более того, именно ассоциация «Станкоинструмент» вышла в 2007 году с инициативой создания выставки «Технофорум», которая также добилась отечественного и международного признания.

И вот на фоне этой благостной картины вы организуете параллельную выставку, которая ставит участников станкостроительного рынка в сложную ситуацию?

Картина перестала быть благостной в начале 2020 года. «Экспоцентр» без официального уведомления ассоциации, в одностороннем порядке лишил ее статуса официального соорганизатора выставок «Металлообработка» и «Технофорум».

Именно по этой причине российской ассоциации станкостроителей не оказалось в числе приглашенных на круглый стол «Перспективы развития станкоинструментальной отрасли: новые возможности во взаимодействии выставочных компаний и отраслевых ассоциаций и союзов», проведенный «Экспоцентром» в апреле прошлого года?

Причина или продолжение недальновидной политики «Экспоцентра» — называйте как хотите. На круглом столе в российской столице было десять зарубежных ассоциаций и не было российской. Эти демонстративные действия «Экспоцентра» вызвали недоумение и непонимание со стороны наших давних коллег и партнеров, с которыми у нас подписаны и действуют меморандумы о сотрудничестве и взаимодействии. По нашему мнению, это была демонстрация неуважения не к ассоциации «Станкоинструмент», а к российскому станкостроительному сообществу, которое ассоциация представляет. В сентябре мы получили от «Экспоцентра» приглашение на выставку «Технофорум–2020». Такое же приглашение, в котором не было указано, что ассоциация «Станкоинструмент» является соорганизатором выставки, получил широкий круг предприятий и организаций. Мы считаем, что такие действия наносят репутационный ущерб не только отрасли, но и стране в целом, потому что выставки «Металлообработка» и «Технофорум» являются достоянием станкоинструментальной промышленности России. Формально выставка «Металлообработка» лишилась статуса национального проекта.

Не слишком ли вы категоричны?

Нет. Во всём мире металлообрабатывающие выставки организуют станкостроительные союзы и ассоциации. Это EMO, которая проходит в Ганновере и Милане, IMTS в Чикаго, JIMTOF в Токио, CIMT в Пекине и целый ряд других. Сегодня выставка «Металлообработка» без поддержки отраслевой ассоциации стала исключительно коммерческим проектом, и мировое станкостроительное сообщество это прекрасно понимает.

Вы предпринимали какие-нибудь шаги по преодолению возникшей ситуации?

Конечно! Мы же осознаём свою ответственность за организацию и проведение выставок не только перед российскими металлообработчиками, но и перед мировым станкостроительным сообществом. Мы писали письма президенту ТПП РФ Катырину, министру промышленности и торговли Мантурову, бывшему генеральному директору «Экспоцентра» Беднову, нынешнему генеральному директору «Экспоцентра» Вялкину. В ответ тишина. А тем временем Союз немецких станкостроителей VDW заявляет на 17–20 мая 2022 года новый проект по металлообрабатывающей тематике, который пройдёт в Штутгарте. «Экспоцентру» предстоит конкуренция с «Штутгарт Мессе» при том, что «Экспоцентр» не может конкурировать с этой площадкой по размеру и качеству выставочных площадей, а также качеству оказываемых услуг.

Как я понимаю, вы нашли асимметричный выход из возникшей ситуации?

Я бы сказал, что мы нашли единственно возможный выход из возникшей ситуации. В нашем уставе записано обязательство содействовать сохранению и развитию научно-технического и производственного потенциала производителей станкоинструментальной продукции. Для реализации этих задач ассоциация вправе организовывать и проводить выставки и семинары. Мы намерены действовать в русле мировой практики, когда выставки по металлообработке организуют и проводят станкостроительные ассоциации. Данная схема проведения позволит на 25–30% снизить цены на участие экспонентов в выставке, поскольку у нас нет, как в «Экспоцентре», нескольких дирекций с высокооплачиваемым персоналом, что ложится на конечную цену квадратного метра.

Международная выставка «RIMTOS–2022. Металлообработка. Технологии. Оборудование» будет проходить с 23 по 27 мая в выставочном комплексе «Крокус Экспо».

Зинаида Сацкая

А ЧТО ВНУТРИ?

KSC10B™

Революционное покрытие обеспечивает увеличение стойкости на 50 %, повышение производительности и предсказуемый процесс обработки при точении сплавов на основе никеля, кобальта и железа. Сплав KSC10B™ отлично противостоит лункообразованию и образованию проточин по глубине резания. Обработка жаропрочных сплавов эффективнее, чем когда-либо.

Что скрывает инструмент?

kennametal.com

KENNAMETAL®

ЛЮДИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЛИ ПРОИЗВОДСТВО ДЛЯ ЛЮДЕЙ?

С 2014 года существует государственная программа РФ «Охрана окружающей среды», а в российской промышленной среде активного присутствия этой важной темы, по нашим наблюдениям, нет. Тема взаимоотношений промышленности и окружающей среды вобрала в себя комплекс проблем. С одной стороны, это проблемы промышленного производства, с другой — социальная проблема защиты здоровья людей и окружающей среды. На наши вопросы о способах решения проблем на производстве отвечает Сергей Касацкий, генеральный представитель компаний ULT AG и Novus air GmbH в Российской Федерации.

Сергей, нельзя же сказать, что люди на наших производствах не защищены? Везде на предприятиях видны трубы вытяжной вентиляции.

Трубы на предприятиях действительно есть, но это уже символ прежних подходов. Вопросы организации промышленной вентиляции воздуха решаются, но неэффективно. В цехах высотой до 10 м вентиляция установлена под потолком. Работникам, которые работают внизу, легче не дышится. Устаревшие подходы проблему не решают. К тому же в зимнее время вентиляторы вытягивают из помещения согретый воздух и создают некомфортную низкую температуру. В итоге имеем среду, опасную для здоровья. А токсичные выбросы отравляют атмосферу населенных пунктов, где расположены промышленные предприятия.

А что же взамен?

Взамен современные подходы к организации промышленной фильтрации воздуха. Все загрязнители нейтрализуются фильтрующими установками, а очищенный воздух поступает в помещение на рабочее место. Захват загрязнителя происходит в точке его выброса, а не под потолком. Одновременно современные устройства обеспечивают процессы рекуперации и подают воздух не только очищенным, но и с комфортной температурой. Налицо экономия на обогреве рабочих помещений.

Какие существуют подходы к фильтрации воздуха? Очевидно, что они не могут быть одинаковыми, скажем, для джобшопа по резке листового металла и аддитивного производства.

Верно. Существуют различные типы производства и разные технологические процессы: обработка лазером, пайка, сварка, ковка, обработка материалов, аддитивные технологии, другие производства, где используются растворители, бензины, кислоты. И всё сопряжено с загрязнением воздуха и требует дифференцированной очистки от конкретного загрязнителя. Металлообработка — это особая статья. Здесь используются смазочно-охлаждающие жидкости, которые испаряются. Появляется «липкий» запах. Длительное вдыхание паров СОЖ не добавляет здоровья. Устройства не только фильтруют, но и конденсируют капельно-жидкостные вещества. И уже существуют системы не только фильтрации, но и конденсации из воздуха капельно-жидкостных веществ, применяемых на производстве, с дальнейшей их утилизацией в виде жидких отходов. То есть фильтруется не только воздух, но и сама жидкость, которая присутствует в очищаемом воздухе. Другой пример. В процессе шлифования выделяется металлическая пыль, которая создает проблемы людям и оборудованию. И эта задача решается фильтрующими системами. Важно, что современные фильтрующие устройства — это не промышленный пылесос, это наукоемкое устройство, которое гарантированно защищает человека и технику от негативного воздействия.

А технологическое оборудование нуждается в защите?

Конечно! На современных автоматизированных производствах даже роботы-сварщики защищены системой фильтрации воздуха. Немецкая промышленная группа ULT, которую я представляю в России, совместно с профильными научно-исследовательскими институтами занимается проблемой фильтрации воздуха. Уже разработана линия различных фильтрующих систем и фильтров, различающихся как по своему назначению, так и по мощности и размерам. Мы достигли чистоты воздуха после фильтрации в 99,98%.

Как экологические требования к промышленным предприятиям регулируются в Германии?

Условия работы сотрудников регулируются профсоюзными и государственными органами. Нормативы носят обязательный характер. Всякий ущерб здоровью работника, вызванный условиями работы, влечет за собой выплату ощутимой компенсации, поэтому руководители предприятий ответственно подходят к проблеме. Отсутствие перерывов в работе в связи с потерей трудоспособности — важная составляющая эффективности бизнеса.

Каковы причины отставания российских предприятий в решении этих проблем?

Важность этой темы не отрицается, но остаётся в тени и не имеет достаточного развития, как, к примеру, в Европе. Требования отечественных нормативов уже не соответствуют изменившемуся уровню развития производства. Есть и финансовые проблемы. Когда не хватает средств на высококлассные станки, многие предприятия не хотят тратить деньги на вспомогательное оборудование, которое себя окупить не может. То есть, по сути, идет экономия на здоровье сотрудников.

Как выглядят усреднённые европейские цены на фильтрующее оборудование?

Портативное устройство с чемоданчик пилота, мощностью 150–200 м^3/час стоит около 2500–3000 евро. Установка высотой три метра мощностью 20000 м^3/час, с четырьмя экономичными и малошумными двигателями, с контроллером, датчиком автоматического контроля загрязнения будет стоить 32–35 тысяч евро.

Когда, по вашему мнению, в массовом порядке могут быть востребованы фильтрующие установки?

Не фильтрующие установки должны быть востребованы, а здоровье людей и здоровая окружающая среда. Та самая среда, которая у нас на всех одна.

Зинаида Сацкая

ФОТОНИКА • PHOTONICS

ТПП РФ

UFI Approved International Event

Российский союз выставок и ярмарок

EPIC European Photonics Industry Consortium

Главное событие отрасли в России и странах СНГ

ФОТОНИКА МИР ЛАЗЕРОВ И ОПТИКИ

29 марта – 1 апреля 2022

При поддержке:
- Европейского индустриального консорциума по фотонике (EPIC)
- Госкомитета по науке и технологиям РБ

Под патронатом ТПП РФ

16-я международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.photonics-expo.ru

Реклама 12+

ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

ЭКСПОЦЕНТР

30 ЛЕТ НА РЫНКЕ

3 февраля 1992 года Валентином Павловичем Гапонцевым было создано и зарегистрировано ООО НТО «ИРЭ-Полюс» — российская компания, являющаяся основателем и одним из базовых подразделений международной научно-технической корпорации IPG Photonics Corporation.

IPG Photonics Corporation — мировой лидер в разработке и серийном производстве высокоэффективных волоконных лазеров и усилителей, оптических компонентов, узлов, модулей, приборов, подсистем и систем для:

— промышленных комплексов лазерной резки, сварки, наплавки, легирования, термообработки, маркировки, очистки;

— научных исследований;

— волоконной, атмосферной и спутниковой оптической связи, кабельного телевидения;

— хирургии и биомедицины;

— оптической локации, дистанционного контроля промышленных объектов и атмосферы;

— контрольно-измерительных систем, сенсорики.

Корпорация занимает 60% мирового рынка волоконных лазеров и более 10% мирового рынка лазерной индустрии.

Ведущий научно-технический потенциал IPG Photonics Corporation сосредоточен в США, Германии, Италии и России, где она имеет суперсовременные чистые лаборатории общей площадью до 30 тыс. кв. м и производственные мощности до 200 тыс. кв. м. Созданы 30 представительств в разных странах мира.

Объем продаж продукции корпорации в 2020 году составил 1,2 млрд долларов. Реализация товаров осуществляется через отделы прямых продаж во многих странах мира. Среди тысяч клиентов: производители оригинального оборудования (OEM), системные интеграторы и конечные пользователи. Акции IPG Photonics Corporation котируются на Нью-Йоркской фондовой бирже Nasdaq, компания входит в список S&P 500®.

В IPG Photonics Corporation работает высококвалифицированный интернациональный коллектив сотрудников с численностью на начало 2021 г. более 6000 человек, 30% из которых трудятся в России.

www.ipgphotonics.com

ДИАЛОГ МЕТАЛЛУРГОВ

21–22 апреля 2022 года ООО «Корпорация АЛЬЯНС-МЕТАЛЛУРГИЯ» (правопреемник МОО «Ассоциация сталеплавильщиков») и НИТУ «МИСИС» совместно с ГК «Росатом» в лице АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Научным советом по металлургии и металловедению ИМЕТ РАН, группой компаний i3d проведут международный форум «Диалог металлургов: прогноз развития отрасли до 2030 года. Ценовые и технологические решения», который будет посвящен актуальным аспектам развития металлургической промышленности. Форум пройдет в Москве, на площадке НИТУ «МИСиС», с последующей экскурсией по самому университету и его лабораторным и промышленным площадкам.

Тематические направления форума:

• Особенности развития и прогноз изменения цен на рынках сырья и готовой продукции;

• Зеленая металлургия — новые технологии;

• Новые виды огнеупорной продукции, тенденции изменения цен на материалы и структуры потребления;

• Аддитивные технологии в металлургии сегодня

• Индустрия 4.0 — создание цифрового предприятия;

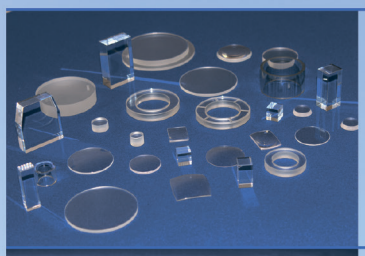
• Подготовка кадров для металлургической отрасли;

Регистрация на официальном сайте до 18/04/2022 года: **http://metaldialogue.tilda.ws** и **www.steelcongress.ru**.

Синтетический

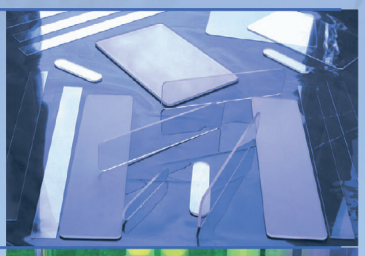
САПФИР

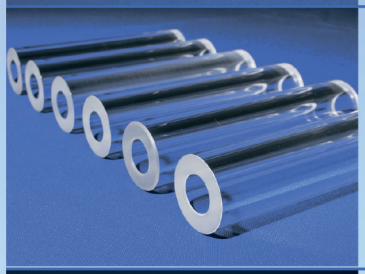
Производство кристаллов и оборудования



Пластины, окна, подложки:

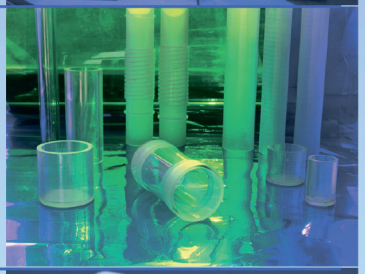
смотровые, защитные, сканерные окна, часовые стекла, экраны для смартфонов и мобильных телефонов, оптические компоненты

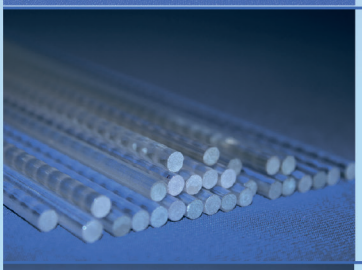




Трубы и тигли:

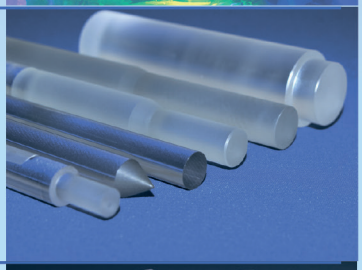
трубки и тигли различной длины и сечения для ламп высокого давления, термореакторов, химических установок, крекинга нефти, чехлы для W-WRe-термопар

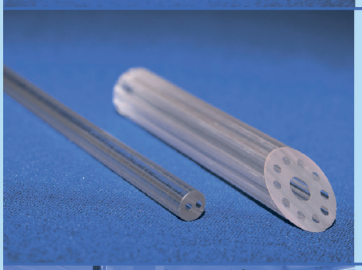




Стержни круглого и прямоугольного сечения:

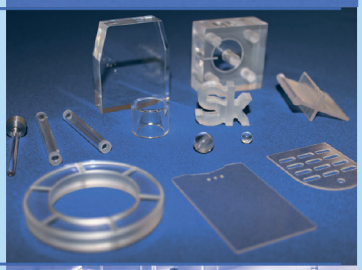
световоды для пирометров, плунжеры для хроматографических насосов и сиквенаторов, электрические изоляторы





Изделия по индивидуальному заказу:

термореакторы, подшипники, компоненты для научной и медицинской техники, брекеты, сувенирная и рекламная продукция



Оборудование для выращивания кристаллов:

Методом Киропулоса. Nika-M60
Методом Степанова (EFG). Nika-PROFILE
Методом Чохральского. Nika-3

ЗАО «РОСТОКС-Н»

Since 1993

142432 Россия, Московская обл., г. Черноголовка, проспект Академика Семенова, д. 9. ЗАО «Ростокс-Н»
Тел.: +7 496 527 35 91, +7 496 527 35 96, +7 496 527 35 95 • Факс: + 7 496 52 7 36 03
E-mail: rostox-n@yandex.ru, info@rostox-n.ru • http://www.rostox-n.ru

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ДИНАМИЧНОЕ РАЗВИТИЕ

В преддверии традиционной выставки «Фотоника», которая будет проходить в Москве в ЦВК «Экспоцентр» с 29 марта по 1 апреля, в очередной раз хочется отметить возрастающую роль лазерных технологий в обработке материалов, рост рынка лазеров и лазерных систем, появление новых инновационных решений, которые демонстрируют уникальность лазера как инструмента для реализации сложных и ответственных задач.

По данным Optech Consulting [1], мировой рынок промышленных лазерных систем достиг в 2021 году нового рекордного уровня в 21,3 млрд долларов США (**рис. 1**, **2**), что на 22% больше, чем в предыдущем году, а рынок промышленных лазеров установил новый рекорд в 5,2 млрд долларов США. Оценки основаны на данных, доступных на середину января 2022 года, включая финансовые отчеты за первые три квартала года.

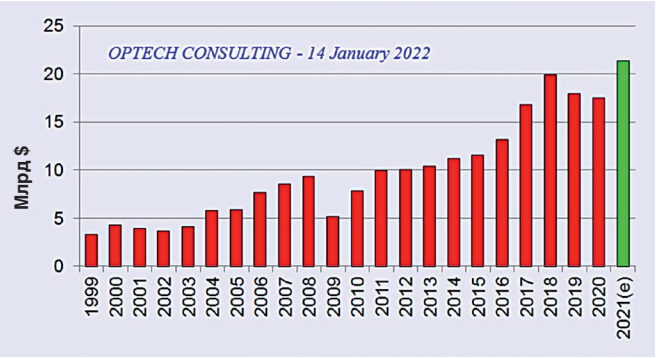


Рис. 1. Мировой рынок промышленных лазерных систем в млрд. долларов США в 2021 г.

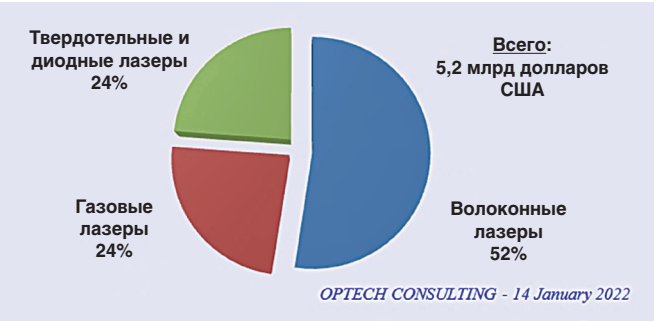


Рис. 2. Мировой рынок промышленных лазеров 2021 г. в млрд. долларов США

Рынок промышленных лазерных систем (лазерных станков для лазерной обработки материалов) рос со среднегодовым темпом роста 10,5% в течение последних 35 лет. Для сравнения — рынок станков увеличился примерно на 3% (**рис. 3**). В течение последних 15 лет рынок лазерных систем рос в среднем на 9% в год. Темпы роста меньше, чем средний показатель в 13%, зарегистрированный в предыдущие годы, однако до сегодняшнего дня рыночная тенденция не указывает на насыщение.

Согласно данным Research And Markets [2], ожидается, что к 2028 году рынок лазерных технологий достигнет 30,3 млрд. долларов США при среднегодовом темпе роста в 11,4% в течение прогнозируемого периода 2021–2028 годов.

Рост этого рынка поддерживается растущим внедрением лазерных технологий в секторе электроники, в здравоохранении, переходом на нано- и микроустройства и растущим предпочтением лазерной обработки материалов по сравнению с традиционной обработкой. Более того, растущий спрос на лазерные технологии в робототехнике и все более широкое использование лазеров для оптической связи также открывают значительные возможности роста рынка. Из сдерживающих факторов отмечаются высокая начальная стоимость лазеров и техническая сложность мощных лазеров.

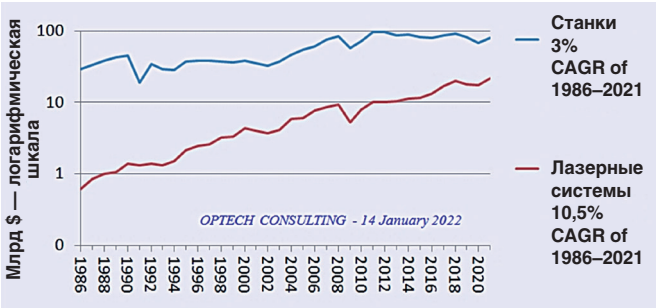


Рис. 3. Сравнение показателей рынка станочного оборудования и лазерных систем для обработки материалов (млрд. долларов США)

Пандемия COVID-19 умеренно повлияла на мировой рынок лазерных технологий. Национальные ограничения, введенные в нескольких странах мира, привели к закрытию производственных предприятий, и нарушению цепочек поставок. Спад промышленной деятельности отразился на рынке обработки материалов, что привело к снижению спроса на лазеры. Однако модель работы на дому увеличила потребность в высокоскоростной передаче данных и, как следствие, обеспечила высокий спрос на лазерные диоды для оптической связи. Растущий спрос на лазерные диоды, такие как VCSEL, в смартфонах для сенсорных приложений и для приложений оптической связи приведет к тому, что в течение прогнозируемого периода самыми высокими темпами будет расти сегмент полупроводниковых лазеров.

Анализ географического сценария мирового рынка показывает, что в 2021 году наибольшая доля рынка лазерных технологий приходится на Азиатско-Тихоокеанский регион. В первую очередь это связано с ростом производственной активности в различных азиатских странах, включая Китай, Японию, Южную Корею, Тайвань и Индию; наличием крупнейшего автомобильного рынка в Китае; распространением центров обработки данных и огромным спросом на волоконные лазеры.

Ключевыми игроками на рынке лазерных технологий являются: IPG Photonics Corporation (США), Coherent, Inc. (США), TRUMPF GmbH + Co. KG (Германия), Lumentum Holdings Inc. (США), Jenoptik AG (Германия), Novanta. Inc. (США), LUMIBIRD Group (Франция), LaserStar Technologies Corporation (США), Epilog Laser (США), Han's Laser Technology Industry Group Co., Ltd. (Китай), MKS Instruments, Inc. (США), Gravotech Marking (Франция), Corning Incorporated (США), Eurolaser GmbH (Германия) и BYSTRONIC Laser AG (Швейцария).

Использованы источники:

1. https://optech-consulting.com/laser-market-data/
2. https://www.researchandmarkets.com/reports/5438313/laser-technology-market-by-type-application-and

РОССИЙСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ

МЛП1-Фемто

прецизионная обработка фемтосекундными лазерами

МЛП1-CO_2

обработка диэлектрических материалов

МЛП1-УФ

«холодная» обработка тонкоплёночных изделий

Оборудование разработано и производится в России

- Высококачественная размерная обработка материалов микроэлектроники и ЭКБ
- Модули машинного зрения в каждой машине
- Прецизионные столы на гранитном основании
- Линейные двигатели собственной разработки и производства
- Точность позиционирования — 2 мкм и высокая повторяемость
- **Обрабатываемые материалы:** кремний, кварц, керамика, полимеры, алмазы, сапфир, ситалл, поликор, LTCC и пр.

ГРУППА КОМПАНИЙ
ЛАЗЕРЫ И АППАРАТУРА

- **25 лет на рынке**
- **Серийные комплектации и заказные разработки**
- **ПНР и сервисное обслуживание дистанционно и с выездом к заказчику**

+7 (499) 390 90 86 8 (800) 550 10 59 www.laserapr.ru sale@laser-app.ru

РАСТУЩИЙ РЫНОК, КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ КОМПАНИИ

Для оценки российского рынка лазерных систем для обработки материалов редакция журнала «РИТМ машиностроения» провела опрос ведущих компаний.

Были заданы следующие вопросы:
1) Как вы оцениваете российский рынок лазеров и лазерных систем обработки материалов и ваше место на этом рынке?
2) Как вы можете описать конкурентное преимущество вашего оборудования/услуг?
3) Каковы перспективы экспорта вашей продукции?

Группа компаний «Лазеры и аппаратура» — разработчик и производитель промышленного лазерного оборудования.

Анна Цыганцова, исполнительный директор

Мы оцениваем российский рынок лазерных систем как активно растущий. На сегодняшний день, по нашему мнению, общий объём рынка составляет не менее 15 млрд рублей, из которых на отечественные компании приходится около 15%. Долю ГК «Лазеры и аппаратура» на рынке российских производителей лазерного оборудования мы при этом оцениваем примерно в 20%. Сейчас мы готовим подробный обзор рынка лазерного оборудования в России и скоро представим его на страницах журнала. Стоит подчеркнуть, что в последние годы мы фокусируемся на производстве сложных систем для многокординатной лазерной обработки высокой точности с системами обратной связи, оборудованные модулями технического зрения, многопозиционными оснастками и т.п.

На текущий момент самые передовые наши станки — это системы лазерной микрообработки, разработанные для задач микроэлектроники и радиоэлектроники, станки лазерной порошковой наплавки для ремонта и формообразования, а также четырех- и пятикоординатные системы лазерной резки и сварки. Все эти комплексы являются результатом многолетнего опыта создания и эксплуатации систем с одной стороны, а с другой,— в них внедрены самые последние достижения в области систем управления и технологии обработки.

Наше основное конкурентное преимущество в том, что мы всегда стараемся не просто произвести и поставить станок, а создать и внедрить решение задачи. В этом нам помогает наличие полного цикла разработки и производства и большой, более чем 20-летний, опыт работы с заказчиками в различных отраслях. Таким образом, мы можем контролировать все этапы разработки и производства всех основных узлов и модулей лазерного оборудования и, соответственно, делать станок, модифицируя его под конкретную задачу.

Кроме того, на протяжении последних нескольких лет мы вводим платформенный подход — мы унифицируем основные модули станков так, чтобы разумно ограничить число базовых моделей, и иметь возможность сократить время на разработку и адаптацию оборудования под сложную технологическую задачу (например, пятикоординатную резку или наплавку), а также для того, чтобы формировать задел для быстрого выполнения типовых, серийных задач.

Мы высоко оцениваем перспективы экспорта нашего оборудования и видим заинтересованность наших зарубежных партнёров. В 2020 году мы были крупнейшим экспортёром российского лазерного оборудования, работали и продолжаем работать с предприятиями Беларуси, Казахстана, Узбекистана. Ещё раньше мы активно экспортировали станки в Европу и в США. По понятным причинам, сейчас эти рынки для нас почти закрыты, но мы видим новые перспективные рынки для экспорта российских лазерных систем. В первую очередь это Индия, страны АСЕАН (Индонезия, Малайзия), государства Центральной и Латинской Америки.

«Лазерный Центр» — российский разработчик и производитель систем лазерной маркировки, гравировки, микрообработки, сварки на основе волоконных лазеров.

Иван Николаевич Фоменко, директор по инновациям

В России есть большое количество отраслей промышленности, в которых применяются лазерные системы для решения целого ряда технологических задач.

Например, системы лазерной маркировки уже стали стандартом для нанесения информации на изделие и имеют большое количество преимуществ. Все конкурентоспособные и актуальные на рынке компании так или иначе используют их для идентификации, формируя цифровой образ изделия, предприятия, процессов и т.д.

Системы лазерной резки — это еще более наглядный пример того, как современные технологии внедряются в нашу жизнь. Если плоское изделие сегодня режется не лазером, то это уже очень-очень странно. Пробивные машины и штампы отходят на второй план, уступая место лазерным машинам, преимуществами которых является гибкость, скорость, возможность быстро перестраиваться от одной задачи к другой и, конечно же, очень высокое качество получаемых изделий.

Системы лазерной сварки — также весомая сфера, которая в нашей стране востребована, но не так широко распространена, потому что требует больших финансовых вложений. Кроме того, имеющиеся альтернативные методы также достаточно конкурентоспособны.

Что касается систем микрообработки, когда мы переходим на уровень микронов и нанометров, тут наблюдается практически полное главенство лазерной технологии над всеми остальными. Она широко востребована в производстве электроники, микромеханизмов, разного рода структуры, для изменения свойств поверхности и т.д.

Какое место занимает наша компания на этом рынке? Следует отметить, что рынков много — в каждом из выше указанных направлений свой. Например, можно резать изделие размером 6×6 м, а можно размером 6х6 мм. Это совсем разные системы и совсем разные подходы. В целом «Лазерный Центр» на российском рынке чувствует себя уверенно. По многим направлениям мы являемся лидирующим производителем. По нашим оценкам, компания производит в стране больше всего систем лазерной промышленной обработки в год. Поэтому в будущее мы смотрим с позитивом.

Конкурентные преимущества нашего оборудования являются следствием конкурентного преимущества нашей компании. Мы родились как объединение специалистов, которые прежде всего сконцентрированы на обработке материалов. Наша цель не в том, чтобы создать какой-то уникальный лазерный луч, а именно получить уникальный результат обработки. В штате компании металлурги, материаловеды, инженеры в сфере лазеров, конструкторы, разработчики программного обеспечения и т.д. С такой командой специалистов мы достаточно долго работаем на рынке и создали довольно много уникальных технологий и машин. Преимущества нашего оборудования — функционал (мы можем то, что другие не могут), его надежность (сотни тысяч часов работы оборудования без технического обслуживания). Кроме того, мы общаемся с нашими клиентами на одном языке — инженеры предприятия заказчика всегда могут взаимодействовать не с маркетологом, а с инженерами нашей компании.

Каковы перспективы экспорта нашей продукции? Мы считаем, что станки, которые мы производим, являются конкурентными на международном рынке. Уровень оборудования вполне соответствует мировому, и даже по развитию технологий по некоторым направлениям наша компания является одной из лидирующих в мире. Поэтому, конечно, перспективы экспорта у нас очень большие. Но надо понимать, что это рынок, и российских производителей пусть даже высокотехнологичного оборудования нигде не ждут с распростертыми объятиями. Нужно доказывать свои преимущества, добиваться результатов в конкурентной борьбе с местными производителями и мировыми брендами и строить отношения с новыми партнерами. Экспорт высокотехнологичного оборудования из России — это не просто, но в 16 странах наши клиенты рады, что выбрали нас!

Центр Лазерных Технологий — разработчик и производитель технологического лазерного оборудования.

Ольга Валерьевна Величко, генеральный директор

В целом рынок мы оцениваем, как достаточно насыщенный и конкурентный, особенно в нижнем и среднем ценовом сегменте, где решающую роль играет цена и существенную долю занимают китайские производители и дистрибьюторы.

Приоритетом нашей компании с момента ее основания были научно-технологические и конструкторские разработки в области лазерной обработки материалов, внедрение их в российскую промышленность, создание уникальных комплексных решений для сложных нетривиальных задач. В эпоху цифровизации вектор нашего развития определяется новыми вызовами и трендами Индустрии 4.0, где лазерные технологии являются неотъемлемым элементом цифрового производства и автоматизированных систем управления. Наши клиенты — крупнейшие промышленные предприятия, корпорации, ведущие научные и учебные учреждения России.

Если говорить о преимуществах нашего оборудования, то это:

Качество и надежность. Использование в линейке оборудования FMark самой современной элементной базы и лучших европейских и американских комплектующих позволяет нам гарантировать безукоризненное выполнение сложнейших задач по обработке материалов, обеспечить наивысшие стандарты качества и надежности продукции. По всей России успешно работают наши станки, произведенные 15–20 лет назад.

Скорость обработки. Оборудование FMark оснащено сканаторными системами Raylase — лучшими на рынке по скорости (в среднем на 17%) и точности (на 12%).

35 лет опыта разработок. Мы являемся экспертами с 35-летним опытом научно-технологических разработок. Мы предлагаем не просто оборудование, а прежде всего готовое технологическое решение конкретной задачи клиента, какой бы нестандартной она ни была.

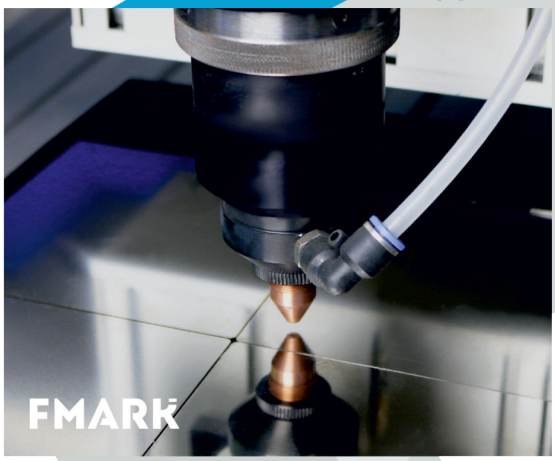
Модульность решений. Использование специализированных модулей расширяет функционал стандартного станка и позволяет решать не одну, а несколько задач, без необходимости приобретать отдельное специализированное оборудование.

Собственное программное обеспечение, легко и удобно интегрирующееся в любой производственный процесс, совместимо почти со всеми популярными форматами и графическими приложениями, написано на распространенном языке C++, что предоставляет широкие возможности по доработкам, внедрению и усовершенствованию под конкретные нужды заказчика.

Опыт работы компании ЦЛТ с крупнейшими промышленными предприятиями России и стран СНГ позволяет с оптимизмом смотреть в будущее. Для наших партнеров основными критериями выбора оборудования и технологий являются надежность, возможность решать сложные технологические задачи и не сиюминутная выгода, а долгосрочный экономический эффект от внедрения предлагаемых нами решений.

ЦЛТ
ЦЕНТР ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

МОДУЛЬ РЕЗКИ AMG-60
ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ПОРТАЛЬНЫХ ГРАВЕРОВ FMARK



- 2 в 1 – гравировка и резка на одном станке
- Экономичное решение для производства мелкосерийных и штучных изделий
- Эффективно обрабатывает металлы толщиной до 1,2 мм, неметаллы – до 3 мм
- Идеален для предприятий электронной промышленности, приборостроения, производителей точной механики и медицинской техники

СОВМЕСТИМ С ЛЮБЫМИ ПОРТАЛЬНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ FMARK МОЩНОСТЬЮ ОТ 100 Вт

Санкт-Петербург ▪ +7 (812) 561 98 68 ▪ amg60@ltc.ru ▪ www.ltc.ru

ООО «ТКЦ Центрум» — представитель компании Eagle Lasers в РФ.

Макс Шмидт,
директор по продажам
в России и СНГ
Eagle Deutschland GmbH

Российский рынок лазеров и лазерных систем насыщен самыми разнообразными предложениями — от бюджетных станков до флагманских моделей ведущих мировых производителей. Для продавцов это непростой рынок, особенно учитывая спад производства и ослабление рубля в последнее время. Компания только начинает осваивать этот рынок, поэтому говорить о нашем месте на нем еще рано. Но в России действуют те же экономические законы, что и во всем мире, поэтому наше оборудование просто обречено на успех, так же как в Германии, Италии, Северной Европе, США и др.

Компания Eagle Lasers является едва ли не самым молодым производителем лазерных комплексов в мире. Она была основана в 2006 году, а уже в 2008-м представила свой первый комплекс с источником 2 кВт. Благодаря тому, что компания так поздно вышла на рынок, она смогла учесть многолетний опыт эксплуатации лазерного оборудования в различных отраслях промышленности и предложить идеальный лазерный станок. Практически с начала своей деятельности Eagle занимает лидирующие позиции в разработке высокопроизводительных систем. Она первая последовательно представила профессиональному сообществу и запустила в серийное производство комплексы мощностью 4, 6, 12, 15, 20 и теперь 30 кВт! Eagle Lasers является единственной компанией, серийно производящей лазерные комплексы с ускорением 6G. Главным преимуществом нашего оборудования является его высочайшая экономическая эффективность, обеспеченная беспрецедентными скоростями обработки и низкой стоимостью владения.

Все производимые Eagle Lasers станки оснащены станиной из полимербетона, линейными двигателями на всех осях, оптической системой, рассчитанной на работу с источником 30 кВт, даже при поставке с источниками меньшей мощности.

Продукция Eagle Lasers востребована во всем мире. Спрос на комплексы Eagle превышает возможности производства, поэтому в 2022 и 2023 годах будут запущены новые производственные мощности.

С недавнего времени компания начала предлагать оборудование в России. Уже подписан договор на поставку первого станка. Мы рассчитываем в течение нескольких лет занять достойное место на рынке РФ среди ведущих производителей лазерных станков.

ООО «ТКЦ Центрум» — представитель компании Eagle Lasers в РФ

info@tkzentrum.ru
+7 495 120 01 90

www.tkzentrum.ru

ООО «СТМ» — официальный поставщик лазерных станков HAN'S LASER в России

Сергей Масюков, генеральный директор

Ситуация на российском рынке лазерной резки сейчас выглядит весьма оптимистичной. В ближайшей перспективе мы не видим больших проблем, кроме внешнего политического фона. Объемы поставок продолжат рост, несмотря на то, что прошел бум, когда клиенты массово покупали маломощные станки лазерной резки в погоне за быстрым заработком на услугах лазерного раскроя. Да, эти станки недорогие, но они очень медленные. Сейчас происходит «отрезвление», иначе сказать, растет профессионализм. Имея большой опыт работы со станками лазерной резки, клиенты задают уже совсем другие вопросы. Цена уходит на второй план. Время — вот главный критерий!

Для Han's Laser это отличная ситуация, так как мы всегда делали ставку на производительность и надежность. И это работает. В сегменте высокой мощности (6 и более кВт) Han's Laser практически не имеет конкурентов по соотношению цена/производительность. Мы призываем клиентов ориентироваться не на теоретические заявления, а на практические тестовые резы. После таких тестов клиенты делают чаще выбор в пользу Han's Laser. Так, например, на одном из крупнейших металлообрабатывающих предприятий России был запущен первый лазерный комплекс с размером стола 2,5 на 25 метров, мощностью 12 кВт. Это большое событие для Han's Laser. Современная технология лазерной резки позволяет практически полностью заменить операцию сверления отверстий в толщинах до 20 мм, обеспечивая высокую точность в пределах требуемых допусков. Это сокращает время производства в несколько раз.

Что касается станков средней мощности (3–6 кВт), то здесь Han's Laser в большинстве случаев показывает более высокие показатели по минимальному времени резки тестовых деталей. Компания изначально делает упор на производительность, постоянно совершенствуя свои станки. Например, вышедшая в 2021 году обновленная серия F имеет скорость перемещения до 280 м/мин., а ускорение — 2.8 G. В итоге производительность выросла на 30%. А если сравнивать с бюджетными моделями небольшой мощности, которые сейчас занимают основной объем поставок в России, скорость будет выше в 2–3 раза. И клиенты сейчас стоят перед выбором — купить два станка недорогих или один, но мощный и быстрый.

Еще одна наблюдаемая тенденция — это апгрейд станков. Кто-то меняет источник на более мощный. А кто-то переходит на более производительные станки с дешевых.

По итогам 2021 финансового года Han's Laser вышел на второе место в мире по объемам производства высокотехнологичного оборудования для обработки металла. Несмотря на огромную конкуренцию, этого получилось достигнуть за очень небольшой срок, поскольку изначально была сделана ставка на технологичность производства. На 72 заводах, входящих в группу Han's Laser, установлено самое передовое высокотехнологичное оборудование. И наш совет для всех клиентов: всегда делайте ставку на высокоскоростное оборудование с максимальной производительностью. Сравнивайте и считайте выгоду не от экономии на текущей цене станка, а от заработка, который он вам принесет за год.

HAN'S LASER
Smart Equipment Group

Промышленные лазерные станки для 2D- и 3D-резки

ООО «СТМ»
официальный партнер
Han`s Laser в России

+7 800 550-04-69
hanslaser@stm-ru.ru
www.hanslaser.stm-ru.ru

Подписывайтесь: @hanslaser_russia

НЕМЕЦКИЙ ЖУРНАЛ ПОДТВЕРЖДАЕТ

Данные журнала LaserFocusWorld также подтверждают, что пандемия мало изменила перспективы развития индустрии лазеров и фотоники.

Например, производитель лазеров Trumpf зафиксировал в 2021 году рост продаж на 0,5% до 3,5 млрд евро. Имея в портфеле заказов на 3,9 миллиарда, компания с оптимизмом смотрит в будущее.

Немецкая ассоциация машиностроительной промышленности VDMA настроена осторожно оптимистично: «…мы еще не вернулись к уровням, существовавшим до коронавируса, но мы неуклонно приближаемся к ним», — сказал ее президент Карл Хойсген в октябре 2021 года. На 2022 год ассоциация повысила свой прогноз с ростом от 5 до 7%.

«За последние два года мы стали свидетелями большой неопределенности в лазерной индустрии. Но спрос на лазерные системы для обработки материалов в 2021 году рос со значительной двузначной скоростью, чтобы достичь нового рекордного уровня», — комментирует развитие рынка д-р Арнольд Майер из Optech Consulting.

Выполняется ряд научных проектов, связанных с фотоникой, которые могут определить наше будущее. Во-первых, группа квантовых исследований IBM сообщила о 127-кубитном квантовом процессоре и, согласно дорожной карте, планирует создать 1000-кубитный чип к концу 2023 года. Это предполагает, что мы сможем увидеть настоящие квантовые приложения до 2030 года. В августе 2021 года Центр National Ignition Facility достиг рекордного уровня преобразования входной энергии лазера в выходную — 70%. Это относится к самому актуальному вопросу в мире: как мы можем генерировать больше энергии при меньшем углеродном следе? Еще один проект — это космический телескоп NASA Джеймса Уэбба (JWST), который успешно выведен на орбиту 25 декабря. От него ждут чудесных снимков в 2022 году.

www.laserfocusworld.com

В наличии

Система ручной лазерной сварки **с функцией очистки LightWELD XC**

ЛЛС

Лазерная обработка материалов: оборудование, технологии, производство

АО «ЛЛС» – авторизованный партнер компании IPG Photonics

Функционал LightWELD1500 и в дополнение:

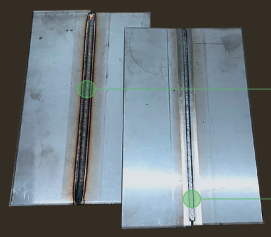
- Высокочастотный импульсный режим лазера с пиковой мощностью 2500 кВт
- Широкое поле сканирования (15 мм) для быстрой обработки
- Два специальных сопла/наконечника для очистки
- Предустановленные режимы очистки

Приглашаем в демозалы для отработки образцов

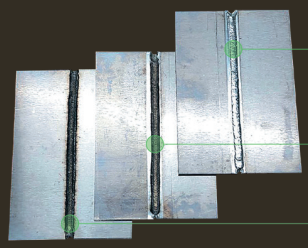
Демозалы:

Санкт-Петербург / Москва / Новосибирск
Набережные Челны / Череповец

Демонстрация и отработка технологии на ваших образцах



Нержавеющая сталь, 2 мм



Алюминий АМг, 2 мм

- Лазер работает в импульсном режиме с высокой частотой следования импульсов (до 50 кГц)
- За счет точной настройки параметров импульсного излучения лазера можно добиваться нужных результатов и качества обработанной поверхности
- Точное задание и контроль зоны очистки
- Минимальные тепловложения – отсутствует коробление
- Детали сразу готовы к последующей обработке

lls-mark.ru

lenlasers.ru
lenlasers
lenlasers_spb
8 (921) 924 65 90

lenlasers.ru
lls-mark.ru

8 (812) 612 99 82
info@lls-mark.ru

Не является публичной афертой

АППАРАТ РУЧНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ LIGHTWELD 1500 ОТ МИРОВОГО ЛИДЕРА ЛАЗЕРНОЙ ИНДУСТРИИ — IPG PHOTONICS

В конце 2020 года компания IPG Photonics представила свою новую систему ручной лазерной сварки LightWELD 1500. Основной блок аппарата внешне практически не отличается от привычных MIG/MAG- или TIG-источников: близкие размеры и вес (316×641×534 мм, 53 кг), кнопки и дисплей выбора предустановленных программ для разных материалов и толщин, поворотные регуляторы коррекции мощности и других технологических параметров (**рис. 1**). Сварочный пистолет подключается к аппарату с помощью шланг-пакета и по эргономике напоминает горелку полуавтоматического дугового источника (**рис. 2**). Подключение аппарата перед работой также похоже на традиционные дуговые источники — баллон со сварочным газом, электропитание, кабель с зажимом «массы».

В отличие от классических сварочных аппаратов, LightWELD 1500 не создает электрическую дугу, а генерирует лазерное излучение. Встроенный в главный блок иттербиевый волоконный лазер с длиной волны 1070 нм (невидимое ИК-излучение) выдает до 1500 Вт непрерывной мощности при 100% рабочем цикле, а пиковая мощность в импульсном режиме достигает 2500 Вт. Лазерное излучение из главного блока доставляется по транспортному оптическому волокну, встроенному в армированный шланг-пакет, до ручного пистолета, где проходит ряд оптических элементов для фокусировки и, при необходимости, развертки рабочего луча. Также для удобства в аппарат встроен источник дополнительного излучения — видимый пилот-лазер, необходимый для наведения на свариваемый стык.

Рис. 1. Общий вид основного блока аппарата ручной лазерной сварки

Рис. 2. Ручной сварочный пистолет с шланг-пакетом

Лазерный луч на выходе из ручного пистолета фокусируется в пятно диаметром ~150 мкм, что обеспечивает высокую локальную плотность мощности. Таким образом, практически вся энергия тратится на создание узкого и глубокого проплавления для формирования шва, при этом тепловые деформации и зона термического влияния минимальны.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ, СВАРИВАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТОЛЩИНЫ

Аппарат LightWELD 1500 поддерживает четыре режима подачи излучения: непрерывный — основной режим работы для глубокого проплавления; импульсный — минимальное тепловложение для сварки тонких или высокоотражающих материалов (алюминий, медь); стежковый — для формирования прерывистого шва при равномерном перемещении пистолета; точечный — установка прихваток перед сваркой.

Основные регулируемые параметры: мощность излучения — для различных толщин материала и желаемой глубины проплавления, частота следования и длительность импульсов, частота и амплитуда сканирования луча.

Сканирование луча необходимо для получения широкого шва, или при невозможности произвести достаточно точную сборку деталей. Развертка луча (до 5 мм) подбирается таким образом, чтобы перекрывать обе кромки свариваемых деталей и зазор между ними.

В тех случаях, когда зазор превышает 0,5 мм, требуется применение присадочной проволоки. На сварочный пистолет устанавливается дополнительный модуль подачи проволоки и специальное направляющее сопло (**рис. 3**), а к главному блоку подключается внешнее управление для синхронизации работы механизма подачи и лазерного излучения. Сварка с проволокой позволяет заполнить зазор между деталями, сформировать при необходимости усиление шва сверху, наложить катет, организовать мно-

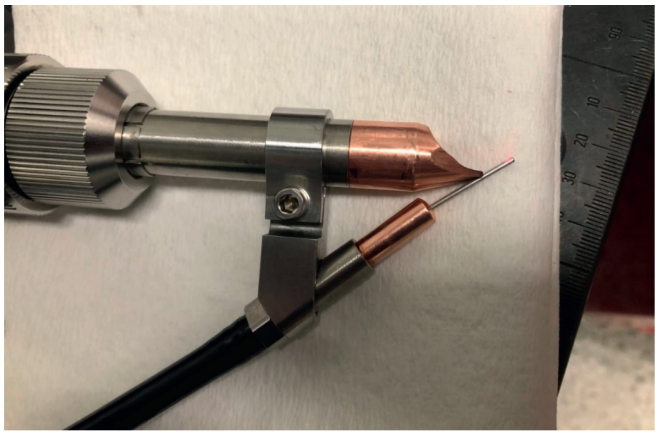


Рис. 3 Сопловая часть с установленной системой подачи проволоки

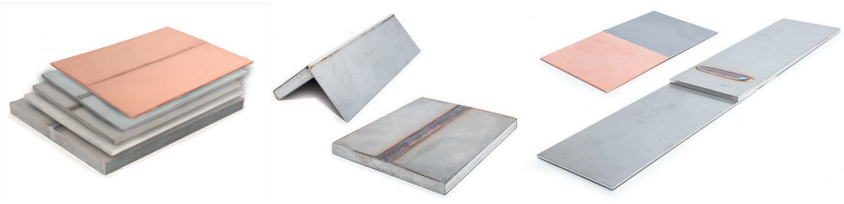


Рис. 4. Примеры сварки для различных толщин, материалов и геометрии швов

Рис. 6. Защитная экипировка сварщика — перчатки и шлем со светофильтрами →

гопроходную сварку в узкую разделку (для большой толщины заготовок) или наплавить поверхность множеством параллельных валиков (например, при восстановлении изношенной детали).

Материалы и толщины — низкоуглеродистые, нержавеющие и оцинкованные стали, алюминиевые сплавы — до 4 мм (до 10 мм с двух сторон), медные сплавы — до 1 мм (до 2 мм с двух сторон).

Для каждого материала и толщины, в том числе при импульсном режиме и сварке с проволокой, производителем заранее подобраны оптимальные технологические параметры — достаточно выбрать сохраненную программу согласно таблице (**рис. 5**). Для углубленного изучения настроек программ лазерной сварки, а также обновления встроенного ПО необходимо подключение аппарата к ПК или ноутбуку для доступа к веб-интерфейсу.

Предустановленные программы сварки

Материал	Толщина 1.0 мм				Толщина 2.0 мм				Толщина 3.0 мм				Толщина 4.0 мм			
	CW	M	T	W	CW	M	T	W	CW	M	T	W	CW	M	T	W
Нержавеющая сталь	A1	C1	A5 300 Вт	A6	A2	C2	A5 550 Вт	A7	A3	C3	A5 800 Вт	A8	A4	-	A5 1150 Вт	A9
Низкоуглеродистая сталь	E1	F1	E5 400 Вт	E6	E2	F2	E5 650 Вт	E7	E3	F3	E5 900 Вт	E8	E4	-	E5 1250 Вт	-
Алюминий 5XXX(Al-Mg - AMг)	-	L1	L5 700 Вт	L6	-	L2	L5 800 Вт	L7	-	L3	L5 1100 Вт	L8	-	L4	L5 1500 Вт	L9
Оцинкованная сталь	-	J1	-	-	-	J2	-	-	-	J3	-	-	-	-	-	-
Алюминий 3XXX (Al-Mn -AMц)	-	H1	-	-	-	H2	-	-	-	H3	-	-	-	H4	-	-

CW — **Непрерывный режим:** максимальная глубина проплавления и скорость сварки

M — **Импульсный режим** уменьшает погонную энергию для снижения тепловложений

T — **Режим прихваток:** энергия одиночного импульса соответствует нужной глубине проплавления

W — **Сварка с присадочной проволокой**

Рис. 5. Таблица выбора встроенных программ сварки

БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ

Невидимое ИК-излучение при лазерной сварке представляет определенную опасность для оператора и обслуживающего персонала заказчика. Все, кто находятся в рабочей зоне, должны носить специальные защитные очки, а сварщик дополнительно — шлем с автозатемняющимся светофильтром для лучшего контроля за процессом. Для защиты кожи рекомендовано использование специализированных перчаток (**рис. 6**). Также по возможности, рекомендуется ограничить сварочную зону защитными экранами или выделить для лазерных работ отдельное помещение.

Аппарат ручной лазерной сварки LightWELD 1500 имеет встроенную многоконтурную защиту от случайного или несанкционированного доступа к открытому лазерному излучению: механический ключ для включения аппарата; контактная цепь безопасности и дополнительная клавиша на пистолете — для подачи излучения только в рабочем положении (сопло прижато к металлу детали, клавиша нажата); внешняя цепь — для подключения дополнительных датчиков.

ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА

Процесс базового обучения занимает несколько часов и сводится к изучению краткого руководства, знакомству с управлением аппаратом и техникой безопасности, тренировкам на образцах. Заранее подобранные производителем режимы обеспечат правильные параметры шва и отсутствие внутренних дефектов. Самым главным навыком, требующим от новичка дополнительной тренировки, является равномерное, без рывков и с необходимой скоростью ведение пистолета по свариваемому стыку. Опытные сварщики после базового обучения могут сразу приступать к работе.

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА

Разработки компании IPG Photonics не стоят на месте, и уже в первом квартале 2022 года компания представит обновленную версию ручного сварочного аппарата — LightWELD 1500 XC. Помимо сохранения всех сварочных функций в LightWELD 1500 XC будет доступна лазерная очистка поверхностей. Для реализации функции понадобилось увеличить ширину сканирования луча с 5 до 15 мм, добавить комплект специальных сопловых насадок и отдельную библиотеку технологических режимов. Теперь, к примеру, перед сваркой ржавой или окрашенной поверхности больше не требуется механическая подготовка — достаточно сменить сопло и режим работы, выполнить проход по будущему стыку и приступать к сварочному процессу (**рис. 7**).

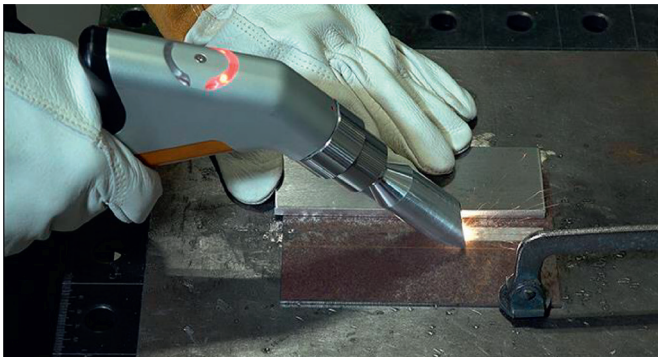


Рис. 7. Фотография ручного сварочного пистолета в режиме очистки поверхности

Узнать подробнее о системе ручной сварки и очистки LightWELD 1500 XC можно на сайте **www.LightWELD-XC.ru**

ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРАМИ С УЛЬТРАКОРОТКИМИ ИМПУЛЬСАМИ

Лазеры обеспечивают процессы, которые невозможно выполнить экономичнее, качественнее и точнее любым другим способом — например, прецизионную резку и сверление отверстий, селективное удаление материала или текстурирование поверхности, микросварку оптических материалов, в т.ч. стекла и комбинированных соединений. Постоянно возрастают требования к точности обработки в промышленных и других применениях. И для этого требуются различные усовершенствования лазера, включая более короткую ширину импульса, более высокую частоту повторения, изменяющиеся длины волн, большую мощность, лучшее качество излучения и увеличенную продолжительность непрерывной работы. Эти потребности должны быть удовлетворены при одновременном снижении первоначальных и текущих расходов [1].

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРОВ С УЛЬТРАКОРОТКИМИ ИМПУЛЬСАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТЕКЛА

Источники лазерных ультракоротких импульсов (УКИ/USP), имеющие длительность менее 100 фемтосекунд, являются важнейшим инструментом, используемым для решения самых разнообразных научных и прикладных задач. Короткая длительность таких импульсов при относительно высокой пиковой мощности позволяет применять их для **прецизионной субмикронной обработки материалов и поверхностей в режиме многофотонного поглощения**. Высокая пиковая интенсивность лазеров УКИ/USP обеспечивает возможность эффективного преобразования частоты с помощью самых разнообразных нелинейно-оптических процессов, что, в частности, открывает возможности для генерации частотных гребенок, простирающихся **от ультрафиолета до ближнего инфракрасного диапазона**. [1, 2]. Ультракороткоимпульсные лазеры в пикосекундном (ps) или даже фемтосекундном (fs) диапазоне доступны для широкомасштабного применения, например, скрайбирования стекла мобильных устройств, уже более десяти лет [3].

Лазерная обработка стекла и кристаллов всегда была довольно сложной из-за низкого поглощения в видимом и ближнем инфракрасном (NIR) спектре и низкой термоударостойкости [4]. Наиболее простой подход основан на использовании однофотонного поглощения в диапазонах длин волн, где стекло не очень прозрачно, — либо в инфракрасном (ИК), либо в ультрафиолетовом (УФ). Однако прямое поглощение приводит к проблемам, включая нежелательные тепловые эффекты и образование зон, подверженных тепловому воздействию, которые могут серьезно нарушить механическую стабильность из-за распространения микротрещин. Кроме того, обработка существенно ниже поверхности, направленная на создание 3D-структур, требует использования длин волн с высокой прозрачностью. В то время как импульсные наносекундные лазеры можно использовать для создания подповерхностных структур в стекле, задействованные физические механизмы также накладывают ограничения на тонкость микрообработки и могут вызывать микротрещины [5]. Как показано на **рис. 1**, обработка фемтосекундным лазером способна обеспечить более высокое качество.

Использование все более коротких импульсов лазерного излучения открывает новые практические возможности для промышленности, а именно — использование сверхбыстрых лазеров, генерирующих субпикосекундные импульсы в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR) длин волн.

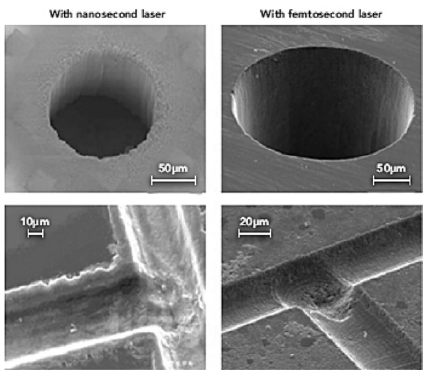


Рис. 1. Примеры лазерной обработки стекла наносекундным ультрафиолетовым лазером (левая сторона) и фемтосекундным лазером NIR (правая сторона) [5]

При таком подходе ультракороткие импульсы плотно фокусируются в объеме стекла или его поверхности с плотностью мощности, превышающей тераватты на квадратный сантиметр, что запускает экзотические процессы, такие как одновременное поглощение нескольких фотонов и лавинообразная и ударная ионизация, приводящая к сильно локализованному разрушению стеклянной матрицы с очень небольшим количеством осажденной энергии (несколько микроджоулей или меньше). Из-за очень малого количества энергии, затрачиваемой на импульс, тепловое воздействие на область — даже непосредственно окружающую фокальный объем — может быть незначительным. Этот подход часто, называемый «холодной абляцией», позволяет создавать чрезвычайно точные 3D-структуры [5].

Фемтосекундная лазерная микрообработка прозрачных материалов имеет отличительные преимущества перед другими методами микрообработки. Во-первых, лазерно-индуцированные модификации ограничены фокальным объемом из-за нелинейности механизма поглощения. При использовании методов сканирования или микрообработки становится возможным создание геометрически сложных трехмерных структур. Во-вторых, независимый от материала нелинейный процесс поглощения позволяет формировать тонкие структуры, подобные оптическим устройствам, в прозрачных материалах. Фемтосекундная лазерная микрообработка сопровождается явлением, называемым «лазерно-индуцированным оптическим пробоем». В этом процессе оптическая энергия фемтосекундного лазера передается обрабатываемому материалу, возбуждая множество электронов и заставляя их ионизироваться и передавать энергию на решетку. Впоследствии происходит структурное или фазовое изменение в материале, которое вызывает изменение показателя преломления [5].

МАРКИРОВКА

Наиболее заметным применением еще 20–30 лет назад была **лазерная**

а)

б)

Рис. 2. Стеклянная бутылка с лазерной маркировкой логотипа и надписи по стеклу и этикетке CO_2-лазером в Лазерном центре (СПб) — а [6, 7] и пример лазерной маркировки по стеклу фемтосекундным волоконным лазером — б [5]

маркировка стекла с использованием CO_2-лазеров, **рис. 2а** [6, 7]. Применялась также лазерная резка изделий из плавленного кварца и высококремнеземного стекла [8–10].

За последние несколько лет стал доступен более сложный способ поверхностной и внутренней маркировки стекла с использованием фемтосекундных лазеров (**рис. 2б**). Однако из-за более высокой цены на эти лазеры их применение в основном касалось медицинских устройств и упаковки для высококачественной косметики, и парфюмерии [4].

РЕЗКА

В прошлом применялись различные подходы для резки стекла и других прозрачных, и хрупких материалов. Эти процессы делят на виды [4]: скрайбирование и разрыв; термическое разделение стекла путем введения специфического профиля напряжений; чистая лазерная абляция; обработка снизу вверх; внутреннее скрайбирование стекла с помощью оптического пробоя при высокой плотности мощности; классическая «термоядерная» резка; генерация нитей (например, длинных и узких модификаций) в пределах объема. Большинство из этих стратегий (**рис. 3**) имеют одно или два преимущества, но в то же время имеют длинный список ограничений [4].

Например, «скрайбирование и разрыв» является интересным вариантом для механического разделения тонких поперечных сечений хрупких материалов (толщиной менее 0,5 мм) после поверхностного скрайбирования сверхбыстрыми лазерами. С другой стороны, этот способ может применяться только к прямым линиям и работает с низкой и умеренной скоростью скрайбирования от 10 до 100 мм/с, в зависимости от толщины, довольно часто оставляет непрямые края после расщепления со значительной разницей в прочности на изгиб. Тем не менее способ хорошо зарекомендовал себя в производстве светодиодов (LED) для нарезки сапфира [4].

Тепловая лазерная сепарация с использованием твердотельного лазера NIR вместо стандартного CO_2-лазера, более известного как поглощение лазерного луча (MLBA), направляет трещину снаружи через материал с помощью лазерно-индуцированного профиля напряжения. Разделенные стенки демонстрируют качество без микротрещин, что приводит к показателям прочности на изгиб и на разрушение, близким к теоретическому уровню стекла. Но опять же есть и минусы: очень сложно направить эту трещину вокруг контура с небольшим отклонением от запрограммированной кривой и закрыть контур, потому что распространение трещины сильно зависит от существующего профиля напряжения в стекле [4].

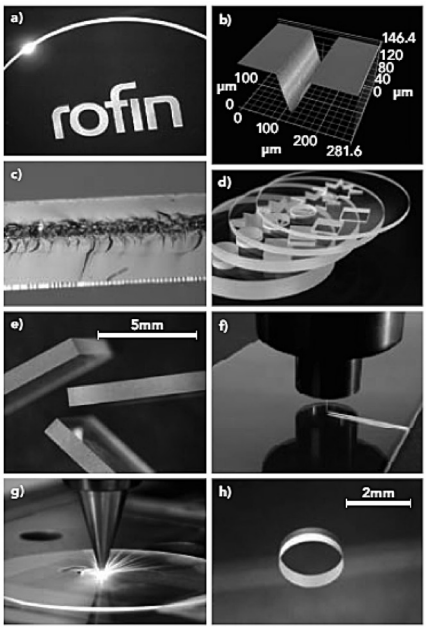


Рис. 3. Различные варианты лазерной обработки прозрачных материалов включают маркировку плавленого кремнезема поверхностной гравировкой (a), гравировку поверхности разбивания стекла (b), внутреннюю гравировку сапфира (c), обработку стекла снизу вверх (d), лазерную нить стекла (e, h), тепловую лазерную сепарацию стекла (f) и «термоядерную резку» сапфира (g) [4]

Недавние разработки в этом направлении включают сверхбыстрые лазеры для создания аналогичного эффекта и обеспечения качества кромок, но контурная резка по-прежнему является проблемой. Поэтому тепловое разделение иногда приходится сочетать с чистой абляцией, например, для получения дисплея сотового телефона. В этом случае **тепловая лазерная сепарация применяется для прямых разрезов, а закругленные углы выполняются с помощью мощного сверхбыстрого лазера** (**рис. 4**). Чистая лазерная абляция — это возможность точно удалить материал на поверхности или даже вниз через все поперечное сечение, что в конечном итоге приводит к резке. Недостатки включают относительно низкую скорость абляции (особенно на более толстых поперечных сечениях), что приводит к типичной скорости резания 1–10 мм/с для материала толщиной до 0,5 мм; неизбежный угол конуса 10–12°; зоны значительного теплового облучения при превышении глубины абляции в 200 мкм. Подход чистой абляции также может быть использован для сверления стекла и других прозрачных материалов, предпочтительно с использованием сверхбыстрого лазера в сочетании с пятиосевой головкой для обеспечения прямых сверлильных стенок. Тем не менее, скорость обработки в более толстом (0,3–0,7 мм) материале довольно низкая — порядка 10 секунд на отверстие. В случае чистой абляции процесс инициируется на верхней стороне образца, тогда как лазер в соответствии с так называемым методом обработки «снизу вверх» начинает разрушать прозрачный материал на нижней стороне заготовки, и этот измельченный материал выпадает из зоны абляции под действием силы тяжести. Отверстия различной формы могут быть созданы путем непрерывного перемещения фокуса вверх. Наносекундные или пикосекундные импульсы используются при λ = 515–532 нм, поскольку этот процесс зависит от высокой прозрачности длины волны лазера. За

время обработки 1 с в известковом стекле толщиной 3 мм можно просверлить отверстие диаметром 1 мм со скоростью резания для свободного контура в диапазоне 3 мм/с. Помимо относительно медленной скорости обработки недостатком является то, что усиленное стекло не может быть обработано этим методом, а края обычно имеют значительные сколы в диапазоне 50–10 мкм от обрабатываемого края [4].

Используя высокую плотность мощности, часто создаваемую сверхбыстрыми импульсами в сочетании с точной фокусировкой до нескольких микрон, можно достигнуть оптического пробоя практически в любой прозрачной среде. Благодаря относительно быстрому движению детали и активному управлению положением фокуса в объеме может быть изготовлена линия реза со скоростью до 1000 мм/с, например, для кубиков сапфировых светодиодных пластин толщиной от 100 до 200 мкм. Для разделения нарезанных кубиками частей необходим механический процесс расщепления. Недостатки включают высокую шероховатость разрезанной поверхности и проблему контроля разрушения от центральной линии к краям [4].

Сапфир является одним из самых твердых из существующих прозрачных материалов. Его механические и оптические свойства идеальны для различных компонентов, таких как, очки, крышки часов, дисплеи мобильных устройств, защитные окна для камер или светодиодные носители. Резка сапфира твердотельными лазерами (например, с ламповой накачкой) известна уже много лет и стала современным промышленным процессом. Однако достижимая скорость процесса и качество резки ограничены, а эксплуатационные расходы относительно высоки. Последние достижения в области волоконных лазеров вывели процесс термосапфировой резки на новый уровень производительности. Скорость и качество резки могут быть значительно улучшены при гораздо более низких эксплуатационных расходах [4].

В процессе термической резки лазерный луч обычно фокусируется на заготовке. Температура заготовки локально повышается выше температуры плавления. При комнатной температуре примерно 85% лазерного излучения проходит через полированную сапфировую подложку, примерно 14% отражается и менее 1% поглощается для начала процесса плавления. Как только сапфир расплавляется, его поглощающая способность резко возрастает, и ванну расплава можно легко поддерживать. Таким образом, начало процесса является наиболее важной частью термической резки сапфира. Поскольку теплопроводность сапфира высока по сравнению с другими стеклоподобными материалами, интенсивность лазера должна быть очень высокой — обычно для начала процесса плавления требуются интенсивности в сотни мегаватт на квадратный сантиметр. Из-за высокой теплопроводности тепло быстро рассеивается, и существует меньший риск локального накопления тепла или термического повреждения по сравнению с другими стеклянными материалами. Струя технологического газа (азот, сжатый воздух или, в некоторых случаях, гелий) используется для выдувания расплава из зоны реза. Сам тип газа сильно влияет на качество кромки реза (может происходить химическая реакция) [4].

Волоконные лазеры, такие как Rofin-Lasag LFS 150, стали очень мощной альтернативой твердотельным лазерам с ламповой или диодной накачкой, поскольку они могут обеспечивать высокую среднюю и пиковую мощность в сочетании с отличным качеством луча. Поскольку сапфир и другие хрупкие материалы особенно термочувствительны, параметры лазера должны быть тщательно подобраны и контролируемы. Положение фокуса относительно сапфировой поверхности очень важно, чтобы избежать микротрещин и сколов. Соответствующая фокусировка приводит к резке без трещин с хорошим качеством. Могут быть достигнуты значения шероховатости поверхности Ra < 1,5 мкм. Максимальная скорость резания в основном зависит от требований к качеству и сложности деталей. **Скорость резки составляет от 3 до 25 мм/с для толщины сапфира от 6 до 0,2 мм при величине грата менее 20 мкм.**

Волоконная лазерная «термоядерная» резка сапфира и керамики стала распространенной в высокоавтоматизированных процессах производства компонентов для портативных устройств (например, кнопок, защитных окон и т.п.). **Если параметры лазерной резки подобраны правильно, то соотношение цены и качества является непревзойденным по сравнению с другими процессами резки [4].**

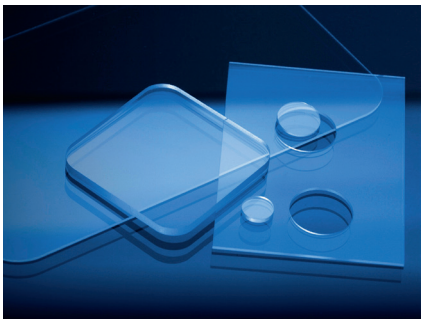


Рис. 4. Резка стекла различной геометрии «лазерной нитью» [4]

Другой подход — резка «лазерной нитью» (**рис. 3 e, h; 4**) [4] — вызвал огромный интерес на рынке, поскольку обеспечивает выдающееся сочетание достижимой скорости обработки, качества кромок (шероховатость, прямолинейность, повреждение поверхности), диапазона толщины и универсальности материала. В этом случае, сверхбыстрые лазеры обеспечивают очень большое соотношением сторон в прозрачных средах — профиль лазерного импульса действует как фокусирующая линза за счет нелинейного оптического эффекта Керра, вызывая самофокусировку луча и дальнейшее увеличение плотности мощности. При определенной пиковой интенсивности создается плазма низкой плотности, которая понижает показатель преломления в центре траектории пучка и заставляет луч снова расфокусироваться. Благодаря использованию сложной оптической конфигурации динамическое поведение между самофокусировкой эффекта Керра и расфокусировкой плазмы может привести к образованию стабильной нити накала, простирающейся на несколько миллиметров в длину в оптическом прозрачном материале. Типичный диаметр нити накала находится в диапазоне 1–2 мкм. Для достижения линии резки или перфорации с нулевым зазором эти лазерные нити размещаются близко друг к другу путем относительного перемещения заготовки и/или обрабатывающей головки с типичными скоростями 100–1000 мм/с, в зависимости от толщины материала и желаемой геометрии реза [4].

Процесс резки «лазерной нитью» Rofin SmartCleave FI позволяет вырезать произвольные формы без конусов в прозрачных и хрупких материалах толщиной 0,05–10 мм (**рис. 4**).

Полученные поверхности резов

в основном не содержат сколов. Типичные значения Ra < 1 мкм приводят к высокой прочности на изгиб вырезанных деталей. При достаточных уровнях внутреннего напряжения, которые присутствуют в химически или термоупрочненном стекле, зона резки разделяется автоматически. Неупрочненное стекло (содовая известь, боросиликат и алюмосиликат), сапфир или керамика могут быть легко разделены механически. Технологии SmartCleave FI применяются при изготовлении дисплеев мобильных телефонов из усиленного и неупрочненного стекла, а также сапфира; телевизоров, компьютеров и планшетов, светодиодных и органических (OLED) продуктов и других микроэлектронных приложений; стеклянных подложек для интегральных схем; оптики; часов; архитектурного и бытового стекла; медицинских изделий; полупроводников и керамики [4].

Компанией Rofin были разработаны сверхбыстрые пикосекундные лазеры StarPico, построенные в виде цепи MOPA, обеспечивающей очень высокую частоту повторения и разрыва, **с импульсными пакетами с наносекундным разделением** и программируемыми изменениями мощности излучения. Выбранная конструкция Hybrid-MOPA **сочетает надежность, высокую частоту повторения и качество луча волоконных лазеров с масштабируемостью мощност**и [4].

Два новых описанных выше процесса: лазерная «термоядерная» резка и резка «лазерной нитью» сверхбыстрыми лазерами — имеют значительный потенциал для широкого промышленного внедрения [4].

ТЕКСТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Распространенные методы, такие как пескоструйная обработка и химическое травление, для текстурирования на стеклянных поверхностях, обеспечивают точность среднего уровня и ограниченный контроль над полученным рисунком, часто вызывая микротрещины, которые снижают долговечность обработанного стекла. В результате **волоконные лазеры также находят применение при текстурировании поверхности стекла**, особенно для таких задач, как **создание гидрофобных/гидрофильных стеклянных поверхностей**. В последнее время обработка с использованием ультракороткоимпульсных лазеров показывает, что на стеклянных поверхностях можно получить такие же или даже более качественные условия смачиваемости, чем при традиционных технологиях, и они весьма перспективны для будущих применений в области обработки поверхностей. Они обеспечивают полный контроль над технологической схемой на поверхности, что позволяет оптимизировать взаимодействие жидкости и стекла [5].

СОЗДАНИЕ ВОЛНОВОДОВ

Еще одно важное применение в индустрии оптики и фотоники, возможное только с помощью лазеров со сверхкороткими импульсами, — это создание волноводов внутри стекла для направления света в 3D. Когда ультракороткие импульсы фокусируются внутри стекла, в фокусном объеме происходит изменение показателя преломления. Эту область с увеличенным показателем преломления можно использовать для формирования траекторий. Как и по оптическим волокнам, свет может направляться по этим путям с помощью механизма полного внутреннего отражения. Используя этот метод, можно направлять и передавать свет в трех измерениях из одного места в другое, комбинируя или разделяя различные длины волн, создавая решетки или структуры линз внутри стекла, и т.д. Таким образом, возможность создания ультракороткого лазерного волновода внутри стекла (**рис. 5**) важна, поскольку ожидается, что технология фотоники будет доминировать в области связи, биомедицины и сенсорных технологий, которые в основном обеспечиваются электронными технологиями [5].

СВАРКА

Еще одним перспективным применением волоконных лазеров со сверхкороткими импульсами является **сварка стекол**.

Наиболее широко используемый метод соединения двух стекол — это склеивание их с помощью химических веществ. Самым большим недостатком этого метода является то, что большинство используемых химических веществ со временем выделяют некоторые газы, в результате чего сила связи между стеклами уменьшается из-за газа между ними [5]. Другой используемый метод заключается в полировке стеклянных поверхностей, их соединении и последующей термообработке. Этот метод также имеет недостатки, особенно если используются два разных типа стекол. Поскольку они могут иметь разные коэффициенты теплового расширения, связь между стеклами может ослабнуть после термической обработки [5].

В последнее время для сварки стекол начали использоваться лазеры с высокой частотой повторения (мегагерцы) и высокой энергией импульсов (микроджоули) — сверхкороткоимпульсные лазеры. Когда ультракороткие импульсы фокусируются на границе раздела двух свариваемых стекол, очень небольшие объемы каждого стекла плавятся и охлаждаются

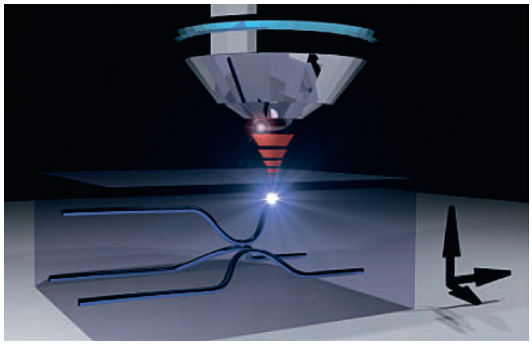


Рис. 5. Схема, показывающая прямую лазерную запись волновода внутри стекла [5]

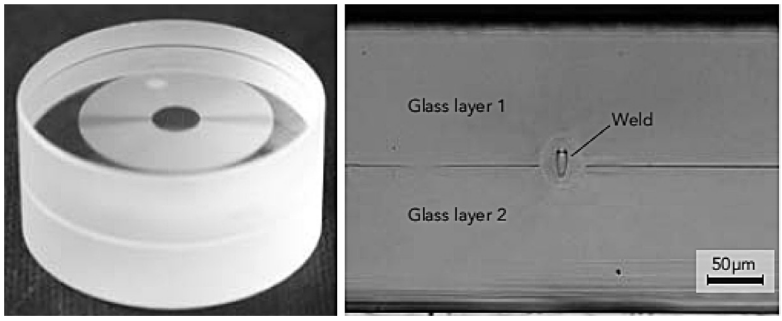


Рис. 6. Лазерное соединение двух стекол с использованием фемтосекундных импульсов [5]

вместе, в результате чего образуется очень мощная связь. При правильной оптимизации процессов сверхкороткой лазерной сварки можно получить связи, столь же прочные, как и в самом стекле (**рис. 6**) [5].

USP-лазеры заняли прочное место в мире обработки стекла в значительной степени благодаря нелинейным взаимодействиям материалов, которые они вызывают. **По сравнению с более длительной шириной импульса или непрерывным излучением (CW) объединение заданного количества энергии в ультракороткую фемто- или пикосекундную ширину импульса приводит к уникальным явлениям, таким как самофокусировка и многофотонное (и другое нелинейное) поглощение, и все это в сильно пропускающем и пассивном материале**. Как только происходит поглощение света, возможна структурная модификация материала, а короткие временные интервалы, в течение которых передается энергия импульса, обеспечивают минимальный нагрев, плавление, растрескивание и т.д. На практике фокусирующая линза используется для точного контроля зоны, где происходит нелинейное поглощение и структурная модификация [11].

В некоторых сценариях может быть полезно определенное количество нагрева, и это также возможно при использовании ультракоротких импульсов. Сверхкороткие импульсы, плотно сфокусированные в стекле и примененные с высокой частотой следования (PRF), приводят к накоплению тепла и контролируемому локальному плавлению квазисферических объемов под поверхностью в объеме стекла. На раннем этапе это парное явление нелинейного поглощения в сочетании с накоплением тепла с высоким КПД использовалось для изготовления оптических волноводов из объемного стекла, поскольку циклическое плавление/замораживание стекла приводило к пространственно изменяющейся плотности и, следовательно, к изменению показателя преломления. Также было обнаружено, что такое же контролируемое локальное плавление можно использовать для соединения двух стеклянных пластин, если плоскость фокусировки расположена на границе соприкосновения материалов. Ранние работы проводились исключительно с фемтосекундными импульсами, позднее исследователи обнаружили, что пикосекундные импульсы с высоким PRF столь же эффективны. На **рис. 7** показано, как стеклянные материалы расположены относительно лазерного луча для **лазерной сквозной сварки** [11].

Соединение стекла со стеклом или другими типами материалов полезно в различных отраслях промышленности, включая бытовую электронику, сборку микрооптики и упаковку медицинских устройств. К преимуществам микросварки на основе лазера относится отсутствие дополнительных промежуточных материалов, а также высокая локализация процесса, позволяющая обрабатывать рядом с термочувствительными компонентами (электрическими, полимерными и т.д.). Учитывая эти преимущества, инженеры MKS Spectra-Physics (Санта-Клара, Калифорния) протестировали промышленный пикосекундный импульсный инфракрасный (ИК) лазер высокой мощности (IceFyre 1064–50 пикосекундный лазер) для сквозной микросварки материалов из стекла в стекло и стекла в алюминиевые пластины [11].

В случае сварки стекла со стеклом две стеклянные пластины (слайды микроскопа с натриевой известью толщиной 1 мм) были помещены в оптический контакт друг с другом, гарантируя отсутствие воздушных зазоров или загрязнений, которые могли бы помешать процессу. Сфокусированный луч, рассчитанный на величину ~2 мкм, устанавливался на границе раздела двух пластин, и образец перемещался в боковом направлении с использованием системы Newport precision XY stage. Параметрические тестовые переменные включали среднюю мощность, PRF и скорость сканирования; оценка и оптимизация были основаны на непрерывности сварной линии и минимизации разрушения стекла. Наилучшие результаты были достигнуты при средней мощности 5 Вт, частоте 10 МГц и скорости перемещения образца 25 мм/с. Структуру и качество сварных швов определяли с помощью оптической микроскопии с изображением сверху вниз на поперечном образце, **рис. 8** [11].

Сварной шов имеет ширину ~30 мкм. Зона термического влияния имеет примерно ту же величину. В некоторых производственных процессах точечная микросварка может быть предпочтительнее сварки непрерывной линией. Для разработки такого процесса тестирование проводилось в объеме одной стеклянной пластины, а не на границе раздела, поскольку считается, что это отражает поведение сварки между оптически контактирующими стеклами. Для стационарных характеристик сварки параметры лазера были повторно оптимизированы, и наилучшие результаты были достигнуты при использовании более низких значений мощности и PRF по сравнению с параметрами для линейной микросварки. В частности, уровни мощности для успешной сварки находились в диапазоне **1–2,5 Вт, а оптимальный PRF был найден равным 1 МГц**. При таких настройках были сформированы симметричные области расплава, размер которых

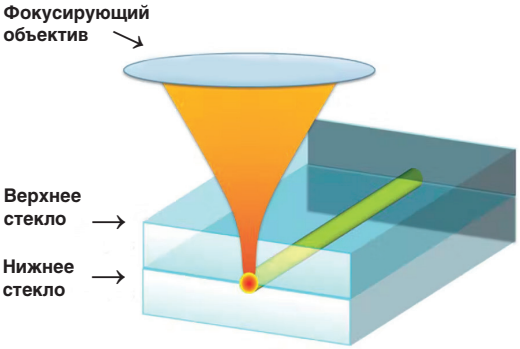


Рис. 7. Схематическое изображение сквозной лазерной микросварки двух стеклянных пластин [11]

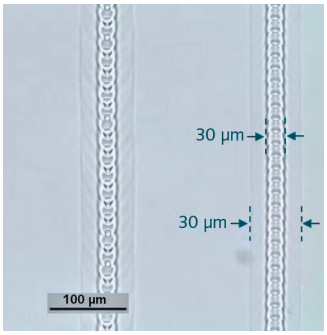


Рис. 8. Поперечный образец со сварными швами соединения «стекло – стекло» [11]

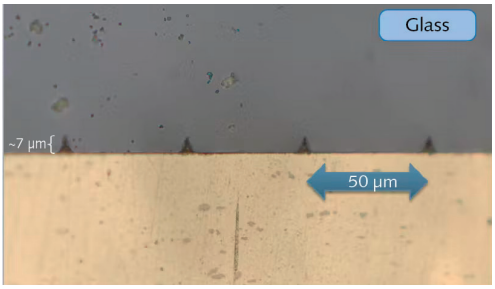


Рис. 9. Расплав алюминия «встроен» в стеклянную пластину без признаков растрескивания или разделения двух материалов [11]

зависел как от средней мощности, так и от количества подаваемых импульсов [11].

Процесс микросварки на основе лазера для соединения стекла с металлом может быть очень ценным, например, для таких задач, как производство мобильных устройств. Отсутствие лишних материалов, таких как клей и механические крепежные элементы или конструкции, широко привлекают как потребителей, так и производителей. Была проведена серия экспериментов, направленных на сквозную лазерную микросварку стекла и алюминиевой пластины. Лазер и установка были идентичны тем, которые использовались для сварки стекла со стеклом, за одним примечательным исключением: поскольку оптический контакт между стеклом и алюминием невозможен, было применено механическое зажимное устройство для удержания двух пластин в тесном контакте во время лазерного облучения [11].

Было обнаружено, что параметры обработки при сварке стекла с алюминием значительно отличаются от параметров при сварке только стекла. Поскольку фокус расположен на поверхности алюминия, где лазерная энергия сильно (и линейно) поглощается, оптимальная средняя мощность оказалась значительно ниже ~0,6 Вт. Частота PRF также была значительно снижена до 800 кГц при той же скорости сварки (25 мм/с) [11].

Поперечное сечение сварных швов стекло — алюминий раскрывает более интересные детали сварных конструкций (**рис. 9**). Сварные швы выглядят как алюминиевые выступы в стекло, и между двумя материалами нет видимого зазора и никаких признаков проникновения расплава в несваренные области вдоль границы раздела. Оценка прочности сварного соединения была получена путем принудительного разделения сварных пластин. Результат был многообещающим: большие участки стекла откололись от основной пластины и остались сплавленными с алюминием, что указывает на прочную связь между двумя разными материалами [11].

Здесь мы рассмотрели экспериментальные результаты для сквозной лазерной микросварки стекло — стекло и стекло — алюминий. При использовании лазера MKS Spectra-Physics IceFyre были продемонстрированы хорошо контролируемые процессы, которые приводят к высококачественным результатам. Простота и гибкость таких процессов могут многое предложить для широкого спектра применений, и высокопроизводительная пикосекундная технология PRF хорошо подходит для этой задачи [11].

3D-ПЕЧАТЬ

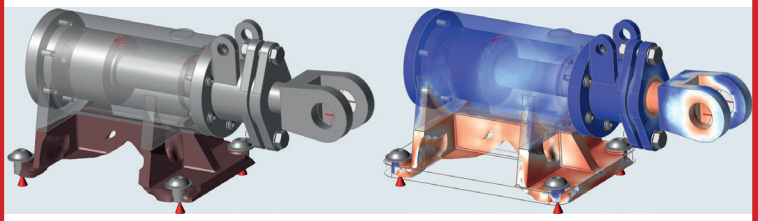
Высококачественная 3D-печать (HP3DP) с помощью сфокусированного импульсного фемтосекундного лазерного излучения обеспечивает широкий спектр свободы в проектировании для промышленного изготовления передовых оптических компонентов и продуктов. Как одна из технологий XXI века, 3D-печать приобрела популярность в быстром прототипировании благодаря тому, что нужен практически один этап процесса и он не требует дорогостоящего и сложного производства обычных инструментов. 3D-печать не только обеспечивает бы-

МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ

Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологии и создании её цифрового двойника (digital twin). Задача специализации — получение наилучшего совпадения результатов моделирования с результатами натурных экспериментов. В своей работе сотрудниками кафедры применяется современное программное обеспечение, такое как «Т-Флекс», Inventor, QForm, AutoForm, Pam-Stamp, Altair HyperWorks, solidThinking Inspire, MatLab, Abaqus, Comsol и другое.

ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТОК КАФЕДРЫ ЯВЛЯЮТСЯ:

- листовая и объёмная штамповка, выполняющаяся в холодном, полугорячем (тёплом) или горячем состоянии материала, процессы метизного производства;
- прокатка и профилирование;
- специальные процессы штамповки (с кручением, упругой средой, в условиях сверхпластичности, изотермическая, электромагнитная);
- механизация и автоматизация участков ковки, штамповки и прокатки, специализированные мехатронные системы;
- аддитивные технологии и топологическая оптимизация для разработки гибридных изделий и штамповой оснастки;
- исследование свойств материалов для аддитивных технологий;



- повышение стойкости штамповой оснастки;
- машинное зрение и оптическое сканирование;
- кузнечно-штамповочное оборудование (молоты, прессы, сервопрессы);
- реологическое описание течения материалов и разработка математических моделей для сталей, цветных сплавов и композиционных материалов;
- трибологические особенности протекания процессов, выбор смазочных материалов и контактных пар трения.

КАФЕДРОЙ ВЕДЁТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ:

- «Машины и технологии обработки материалов давлением» (очное, бакалавриат, 15.03.01 Машиностроение);
- «Аддитивные технологии» (очное, бакалавриат, 27.03.05 Инноватика);
- «Цифровые технологии аддитивного производство и обработки давлением» (очное, магистратура, 15.04.01 Машиностроение).

Контактная информация:
115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д.16
Тел.: +7/495/ 223-05-23, доб. 2344,
e-mail: omd.at@mospolytech.ru
Сайт: https://old.mospolytech.ru/index.php?id=883

струю оценку прототипов, но и может обеспечить более эффективное производство в малых и средних объемах по сравнению с традиционным. Во многих случаях 3D-печатные детали могут весить меньше и обеспечивают улучшенную общую механическую стабильность по сравнению с обычно собранными деталями [12].

Хотя было продемонстрировано много применений, из-за низкой точности и отсутствия подходящих материалов печать элементов с оптической функциональностью оставалась проблемной. Однако, обеспечивая субмикрометровое разрешение печати за счет нелинейного поглощения двух фотонов одновременно, вызванных сфокусированными фемтосекундными лазерными импульсами, становится возможным получить разрешение, соответствующее требованиям заказчика (**рис. 10**). Сфокусированные лазерные импульсы в чане из специальных полимеров или стекол, обеспечивая двух- или многофотонные эффекты поглощения, создают **твердые оптические объекты с точностью, определяемой фокальным пятном лазера** [12].

Преодолевая разрыв между микро/нанопроизводственными и традиционными технологиями изготовления, **процесс HP3DP создает компоненты с разрешением ниже дифракционного предела, которые масштабируются в общем размере от субмикронов до сантиметрового диапазона, обеспечивая изготовление конструкций с соотношением сторон до 43:1 и печать микрооптики сверхвысокого качества и других компонентов, изготовление которых невозможно с помощью обычных методов обработки** [12].

С тех пор, как процесс HP3DP был впервые продемонстрирован в 1997 году, он неуклонно развивался благодаря участию многих академических и исследовательских групп. Технология созрела до степени, когда возможны промышленные приложения с высоким разрешением печати в диапазоне 100 нм благодаря нелинейному эффекту поглощения. Размер мельчайших объектов может быть мгновенно отрегулирован заданием соответствующей мощности лазерного излучения и фокусировкой оптики, технологией изготовления и подбором обрабатываемого материала. Этот метод обеспечивает высокую степень масштабируемости и сложности, не зависит от дорогостоящих масок (**рис. 10**). Пример иллюстрирует масштабируемость по размеру (**рис. 10a**) для субмикрометрических структур в произвольных расположениях и формах (**рис. 10b**) и создание макроструктур (**рис. 10c**) с большой линзой (диаметром один миллиметр), интегрированной в коробку с возможностью выравнивания. Сложные структуры, такие как массив сложенных микролинз (**рис. 10d**), могут быть изготовлены за один процесс без выравнивания отдельных элементов относительно друг друга — сложная работа с высокой чувствительностью к неисправности конечного устройства в традиционном производстве эндоскопов [12].

Благодаря реализации сложных производственных стратегий HP3DP может быть использован для изготовления линзовых массивов в масштабе пластины, заменяя такие технологии, как ультрафиолетовая и ступенчатая наноимпринтная литография (на **рис. 10e** показан массив размером 1×1 см^2), или для изготовления репликационных форм для других технологий массового производства, таких как литье под давлением и горячее тиснение. На специальные подложки нет ограничений (**рис. 10f**), например, микролинза была напечатана непосредственно с распределенной обратной связью (DFB). Эта уникальная способность позволяет печатать элементы на любых активных и пассивных устройствах. Волноводы, волокна и детекторы обеспечивают высокую степень гибкости в разработке новых миниатюрных продуктов и концепций упаковки, а также **возможность объединения нескольких длин волн лазера на одном выходе** для лабораторных применений [12].

Для микроэлектромеханических применений конструкции с высоким соотношением сторон (HAR) являются благоприятными, поскольку они позволяют создавать структуры 3D-микроэлектромеханических систем (MEMS). Такие структуры MEMS обычно обрабатываются с помощью LIGA (немецкая аббревиатура для Lithographie, Galvanik и Abformung), которая в основном использует фоторезист СУ-8 и хромовые маски. Процесс требует нескольких этапов, включая сложную задачу литья толстых слоев фоторезиста, обычно ограниченных несколькими сотнями микрон. Следовательно, для высоты 100 мкм был реализован HAR 100:1. Типичные структуры HAR, реализованные HP3DP (**рис. 11**), включают волноводы с соотношением сторон 1:1 или 2:1, 16:1 с боковыми стенками 90°.

Длинные стенки шириной 5 мкм и высотой 80 мкм были изготовлены в режиме бесконечного поля зрения (IFoV), включающем синхронизированное отклонение лазерной фокусировки гальваносканером. Возможно изготовление структур HAR 20:1, например, игл высотой 100 мкм с базовой площадью 5×5 мкм^2 [12].

Также возможна контурная пластика. С помощью этого метода было продемонстрировано значительное

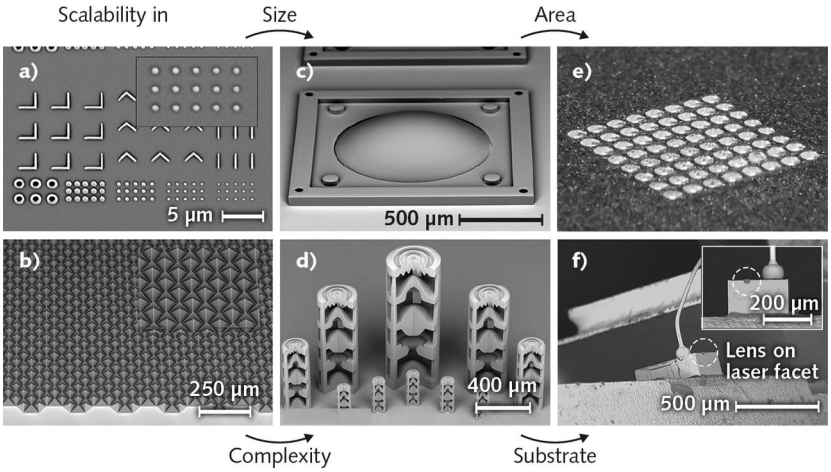


Рис. 10. Процесс HP3DP обеспечивает масштабируемость изготавливаемых оптических элементов по размеру, сложности и форме: субмикрометровых структур, ориентированных случайным образом (a); пирамидальных конструкций микрометрового размера с определенными углами для светового наведения (b); макроструктур, состоящих из объективов диаметром 1 мм, встроенных в рамку с функциями сборки (c); сложенных микролинз, изготовленных за один процесс (d); матриц объективов 1×1 см в качестве мастера для производства репликаций (e); цилиндрических микролинз для целей формирования луча (e); DFB-лазер от компании nanoplus (f) [12]

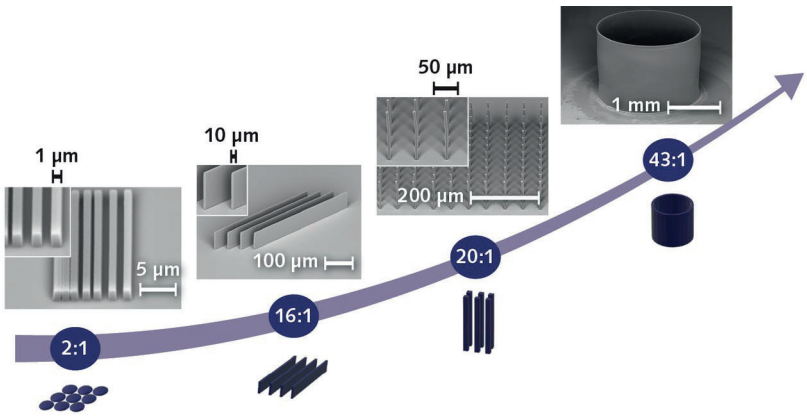


Рис. 11. Показаны различные структуры с высоким соотношением сторон (HAR), реализованные по технологии HP3DP от 2:1 до 43:1; возможно производить конструкции с номинальной высотой в диапазоне от миллиметров до сантиметров, с более высокими пропорциями [12]

увеличение пропускной способности изготовления до 95% по сравнению с обычным режимом полнообъемного структурирования при серийном производстве микролинз, с временем 1–5 с на объектив [12].

Проиллюстрирована соответствующая структура HAR 43:1 (см. правую верхнюю позицию **рис. 11**) для цилиндроподобного элемента высотой 1,7 мм и диаметром 2 мм. Производительность изготовления для этого типа конструкций составила 3,6 мм^3/ч.

Следует отметить, что продемонстрированное соотношение сторон 43:1 не является верхним пределом. При использовании оптимизированной генерации конструкции, даже при боковых размерах порядка субмикрометра, возможны более высокие соотношения сторон [12].

Благодаря высокому разрешению печати и масштабируемости по размеру, сложности, форме обрабатываемой подложки процесс HP3DP будет все чаще применяться в промышленных приложениях. Поскольку процесс HP3DP позволяет создавать компоненты с разрешением ниже дифракционного предела, которые масштабируются в общем размере от субмикрона до сантиметрового диапазона, 3D-печать поверхностей оптического качества в микрооптических приложениях является основной областью применения [12].

Возможность изготовления конструкций с соотношением сторон до 43:1 и управления фокусировкой приводит к сверхвысокому качеству микрооптики и других компонентов, которые невозможно изготовить с использованием обычных методов обработки [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ведущий мировой производитель волоконных лазеров НТО «ИРЭ-Полюс» / IPG (Россия — США) предлагает сегодня компактные и надежные пико- и фемтосекундные лазеры со средней мощностью от 1 до 100 Вт, с частотой от 10 кГц до 3 МГц. Широкую линейку лазеров с короткими и сверхкороткими импульсами для промышленной обработки материалов предлагает также мировой лидер — немецкая компания TRUMPF. Нано-, пико- и фемтосекундные лазеры разрабатываются и производятся в России, в частности, компаниями «Инверсия-Файбер», «Оптосистемы» и «Авеста-Проект», «НордЛэйз».

Разработка удобных в использовании, недорогих сверхбыстрых волоконных лазеров микроджоулевого диапазона в настоящее время превращает этот метод в широко распространенный инструмент промышленной обработки. Области применения варьируются от резки и сварки стекла до создания подповерхностных оптических волноводов. Фемтосекундная лазерная микрообработка предлагает отличительные возможности для 3D-обработки, независимой от материала и длины волны, а также позволяет изготавливать 3D-структуры из прозрачных материалов, таких как стекло, с гораздо большей простотой, чем литография.

Область микрообработки ультракороткими фемто- и пикосекундными лазерами развивается быстрыми темпами и обещает большие возможности.

А. Г. Игнатов, федеральный эксперт Минобрнауки и Коллегии национальных экспертов (КНЭ) России и стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям, научный сотрудник НИЦ (РВиА) Михайловской военной артиллерийской академии (МВАА), И. А. Спивак, к.т.н., начальник отдела НИЦ (РВиА) МВАА, Н. В. Буров, генеральный директор АО «ЛЛС»

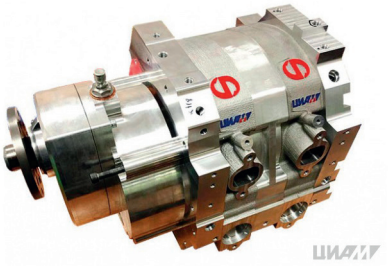
Литература

1. Хоган Х. Тенденции в области промышленных лазерных решений // URL: https://лазер.рф/2019/01/14/10870/.
2. ООО «ФемтоВижн»: вторая жизнь титан-сапфира // ЛазерИнформ. № 15–16 (702–703). Август 2021. С. 1–3.
3. Hoffman D., Limpert J., Thoss A. Ultrashort-pulsed laser sources with kilowatt power for industrial applications / Laser Focus World 2020. № 1. P. 65–68.
4. Mayerhofer R., Hosseini A., Rüttimann C. Laser cutting, drilling, and structuring of brittle materials // Industrial Laser Solutions, July/August 2015. P. 27–30 // URL: www.industrial-lasers.com.
5. Yavas S. Femtosecond laser glass processing // Industrial Laser Solutions. January/February 2015. P. 23–26 // URL: www.industrial-lasers.com.
6. Лазерная маркировка материалов // А. Валиулин, С. Горный, Ю. Гречко и др./ Фотоника. 2007. № 3. С. 16–22.
7. Клочков А. А. Лазерная маркировка — новое слово в борьбе с контрафактной продукцией // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. 2005. № 2.С. 18–19.
8. Васильев А.С., Ганюченко В. М., Смирнов Н. В. и др. Некоторые технологические аспекты лазерной резки кварцевого и высококремнеземного стекла // Новое электросварочное оборудование и прогрессивные технологии сварки: Тезисы докл. Всесоюзн. семинара. г. Тбилиси. Май 1986 г.
9. Ганюченко В.М., Нестеров В. А., Смирнов Н. В. и др. Лазерная резка промышленных изделий из кварцевого стекла и плавленного кварца // Применение лазеров в народном хозяйстве: Тезисы докладов Всесоюзной конференции в г. Звенигороде. Март 1985 г. М.: Наука, 1985. С. 104–106.
10. Ганюченко В.М., Нестеров В. А., Смирнов Н. В. и др. Особенности лазерной резки изделий из плавленного кварца и высококремнеземного стекла // Применение лазерной технологии для повышения качества изделий: Тезисы докладов 4 Уральской конференции в г. Тюмени. 3–5 июня 1985 г. Тюмень, 1985. С. 63–65.
11. Hollister T., Bovatsek J. Glass microwelding with ultrashort-pulse lasers // Laser Focus World 2021. № 8. P. 20–24.
12. Focused femtosecond pulses print optical components with subdiffraction-limited resolution / B.Stender, F. Hilbert, J. Wiedenmann, e.a. // Laser Focus World. 2019. №12. P. 43–45.

НАУКА — РЕАЛЬНОМУ СЕКТОРУ ЭКОНОМИКИ

В ОТВЕТ НА ЗАПРОС РЕДАКЦИИ ЖУРНАЛА «РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ» ПРЕСС-СЛУЖБА МИНОБРНАУКИ РФ ПРЕДСТАВИЛА ЗНАЧИМЫЕ РАЗРАБОТКИ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В ГОД НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ.

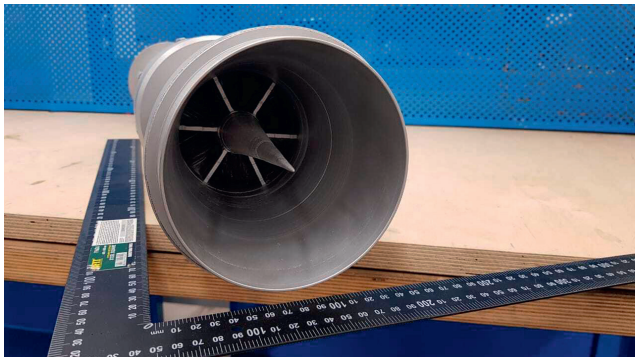
ЦИАМ им. П. И. Баранова (входит в НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского») успешно завершил этап разработки технического проекта авиационного роторно-поршневого двигателя РПД-150Т в классе мощности 150 л.с.



Основная задача следующего этапа — разработка конструкторской документации для изготовления опытных образцов двигателя. Опытно-конструкторские работы планируется завершить в 2024 году.

Специалисты ГНЦ АО «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» впервые в России изготовили с помощью аддитивных технологий опытный образец сепарационного элемента для атомных ледоколов.

Изделие было изготовлено по технологии прямого лазерного выращивания из коррозионностойкой стали в кооперации с ФГБУ ВО «СПбГМТУ» и ПАО «Русполимет». Применение аддитивных технологий для серийного изготовления сепарационного модуля позволит сократить время производства в среднем до четырех раз. В настоящее время необходимо произвести независимую всестороннюю оценку надежности изделия и подготовить прототип к стендовым испытаниям.



Разработанная конструкция также может быть применена в проектах плавучих энергетических блоков, в том числе модернизированных.

ГНЦ — Институт медико-биологических проблем РАН сделал новое устройство имитации невесомости для лунного эксперимента (SIRIUS-21).

Участвуя в проекте SIRIUS-21, испытатели на время «потеряют» вес. Также для участников будущего 8-месячного эксперимента SIRIUS-21 более реалистичной станет имитация выхода на поверхность Луны. Они будут изолированы от внешнего мира на 240 суток, как во время настоящего полета к земному спутнику. А во время условного выхода на поверхность Луны их станут вывешивать на специальном устройстве, чтобы смоделировать пониженную силу гравитации спутника.

Уникальный стенд для моделирования пониженной гравитации представляет собой металлический каркас с ремнями для регулирования силы тяжести (она может меняться в зависимости от пребывания на разных планетах). В сочетании с виртуальной реальностью стенд позволит во время пребывания на виртуальной поверхности Луны создать эффект погружения.

Подобный стенд с системой вывешивания сейчас имеется в Центре подготовки космонавтов, однако рассчитан он на отработку действий в тяжелых скафандрах и без виртуальной реальности. Новый же стенд ГНЦ — ИМБП РАН более компактный. Эффект передвижения на нем создается за счет так называемой всенаправленной беговой дорожки, на которой размещается испытатель с VR-устройством.

Ученые уже отработали основные варианты моделирования движений человека на лунной поверхности, включая ходьбу и прыжки при сниженной силе тяжести.

ЦНИИТМАШ изготовил партию крупногабаритных 3D-печатных металлических деталей.

Специалисты Института металлургии и машиностроения (ИМиМ) научного центра ЦНИИТМАШ изготовили партию крупногабаритных деталей методом селективного лазерного сплавления по заказу Объединенной двигателестроительной корпорации. Работы выполнены совместно с Центром аддитивных технологий государственной корпорации «Ростех». Партия изделий с характерным линейным размером более 600 мм и минимальной толщиной стенки 1 мм изготовлена из жаропрочного сплава.

Синтезированные изделия для ОДК — самые габаритные изделия, изготовленные на территории России методом селективного лазерного сплавления металлических порошков. Изделия распечатаны на отечественном

принтере MeltMaster3D-550 разработки НПО «ЦНИИТМАШ» с использованием отечественной технологии синтеза.

Проведенные работы — это важнейший шаг развития и внедрения новых технологий в реальный сектор производства, что реализует стратегию развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденную распоряжением правительства РФ 14 июля 2021 года.

В ЦНИИТМАШ разработали материал для конструкций с агрессивными средами.

Ученые АО «НПО «ЦНИИТМАШ» успешно реализуют проект, в рамках которого получен способ значительного повышения коррозионной стойкости и создан новый многослойный коррозионностойкий материал для ответственных конструкций. Разработанный материал почти в десять раз более устойчив к коррозии, чем классические стали. Помимо этого, разработаны режимы и материалы для получения сварных соединений, которые не уступают по свойствам основному металлу, а по некоторым показателям превосходят.

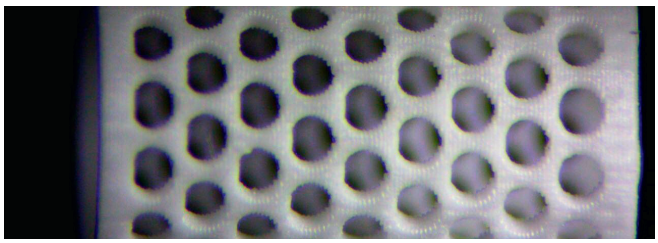
Чтобы получить приоритет применимости этого материала для атомной промышленности, уже сейчас проводится его апробация в реальных или близких к реальным средах. В рамках взаимодействия по проекту с АО «ИРМ» проводятся реакторные испытания нового материала в условиях агрессивной радиационной (реакторной) среды. Определяются механические свойства: адгезия, относительное удлинение, прочностные характеристики, а также исследуются качества многослойного металла неразрушающими методами — ультразвуковым и рентгенографическим. Данные исследования помогут получить ответ, насколько эти методы применимы и стоит ли их вносить в техническую документацию.

На данном этапе сформировано техническое задание, определена программа испытаний и исследований, получена поддержка на платформе ЕОТП, производится подготовка технической документации и исследуются свойства коррозионной стойкости, определяются технические условия для изготовления изделий из нового материала.

НИЦ «Курчатовский институт» с помощью технологии трехмерной печати получена керамика с уникальными свойствами.

Ученые НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА в составе исследовательской группы разработали новый состав суспензий для изготовления керамических изделий с помощью технологии трехмерной печати. Полученные материалы обладают оптимальным сочетанием механических и электропроводящих свойств, что делает их перспективными для изготовления компонентов энергетических и медицинских устройств. Благодаря этому разработка может оказаться востребованной для ряда отраслей промышленности. Результаты работы опубликованы в журнале Journal of the European Ceramic Society.

В качестве основы для изготовления суспензий ученые выбрали порошок стабилизированного оксида циркония, выпускаемый отечественным производителем. Процесс формирования изделия из жидкой массы осуществлялся с помощью компактного 3D-принтера. Керамическую деталь выращивали слой за слоем, придавая ей нужную форму.



Функциональная керамика на основе оксида циркония перспективна не только благодаря свойствам материала. Трехмерная печать открывает также новые возможности, связанные с автоматизацией и созданием изделий сложной формы. В перспективе данная разработка может найти применение не только в энергетике, но и в медицине.

Также в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2021 годы» и постановления правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 реализованы следующие проекты в области машиностроения и станкостроения:

— маломерное научно-исследовательское судно прибрежного плавания «ПИОНЕР-М» для комплексных исследований морской прибрежной акватории с применением инновационной методологии проектирования и внедрением режима безэкипажного управления движением;

— перспективная композитная конструкция планера регионального самолета нового поколения;

— высокотехнологичное производство импортозамещающего горнопроходческого оборудования, оснащенного интеллектуальными системами управления для освоения подземного пространства городов;

— разработка нового поколения серии установочных автоматических выключателей для импортозамещения электрооборудования в наукоемких отраслях промышленности и освоение их высокотехнологичного производства и другие.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА И СМЕЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ЧТО НОВОГО?

Подводя итоги Года науки и технологий, приятно отмечать мероприятия, которые давно стали обязательными в календаре и про которые хочется сказать: «Здесь говорили и о науке, и о технологиях». К таким событиям относится конференция «Электронно-лучевая сварка и смежные технологии», которая проходила 16–19 ноября 2021 г. в Московском энергетическом институте (НИУ «МЭИ»). Ее организатором по традиции выступила кафедра технологии металлов НИУ «МЭИ» при поддержке ОАО НИТИ «Прогресс» и ООО «НПК «ТЭТА», Пермского политехнического университета (ПНИПУ) и издательства «Технология машиностроения».

Представители 15 технических университетов и 35 научно-производственных фирм из России, Белоруссии, КНР, Германии, Мексики, Пакистана рассказывали о своих новых разработках, исследованиях, достижениях, отмечали тенденции, обменивались опытом, демонстрировали направления для внедрений, обозначали нерешенные задачи и проблемы. Всего было заслушано 52 доклада, включая 5 пленарных. Конференция проходила как в очном формате, так и в формате видеоконференции.

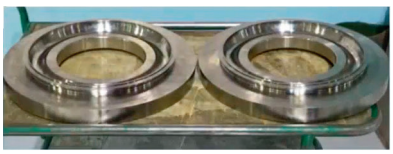
РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Общемировая тенденция развития оборудования для электронно-лучевой сварки (ЭЛС) связана с переходом на более высокие ускоряющие напряжения электронов. У зарубежных производителей: SEO (Sumy Electren Optics, Украина), Pro beam (Германия), SST (Steigerwald Strahltechnik GmbH, Германия), Evobeam (Германия, партнер фирмы Sciaky (CIF) — отмечается оборудование с ускоряющим напряжением от 60 до 150 кВ при мощности от 15 до 60 кВт. Увеличение ускоряющих напряжений предполагает улучшенную защиту, увеличение габаритов пушек, что не всегда удобно и оправданно. Поэтому наши производители в большинстве случаев останавливаются на ускоряющем напряжении в 60 кВ. Среди ведущих отечественных производителей оборудования для ЭЛС следует упомянуть: ОАО «НИТИ «ПРОГРЕСС» (г. Ижевск), ООО «НПК «ТЭТА» (г. Томск).

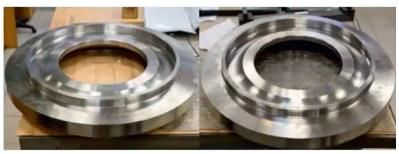
Возрастающий интерес к электронно-лучевой сварке на предприятиях машиностроения, авиакосмической техники, медицинской техники, судостроения и других отраслей промышленности объясняется целым рядом ее преимуществ, среди которых высокий КПД, возможность сваривать тугоплавкие материалы, получать качественный шов, минимизировать деформацию деталей и конструкций, высокая производительность и экономичность и др. Например, по данным АО «ОДК», в существующих и перспективных двигателях 30–35% сварных швов выполняются с помощью ЭЛС (**рис. 1–3**). Востребованы ремонтные технологии: ремонт лопаток моноколес методом ЭЛС (свойства материала и ресурс деталей после ремонта полностью восстанавливаются), ремонт ротора КВД методом наплавки. Кроме того, эффективна термообработка электронным лучом, когда невозможно обработать крупный узел в вакуумных печах. Около восьми лет назад в ОДК начали заниматься аддитивными технологиями, и на текущий момент на предприятиях уже используется порядка 50 электронно-лучевых установок, из которых около 20 — импортные. Например, изначально для двигателя ПД-14 выращивались небольшие детали типа завихрителей, сейчас же уже производятся габаритные детали типа сопла с размером порядка 1200×600 мм и камер сгорания. За этим направлением большое будущее.

Но у электронно-лучевой технологии есть и недостатки, которые сдерживают внедрение в промышленном производстве. Это высокая стоимость и сложность оборудования, отсутствие систем мониторинга пространственных параметров и времени сварки, обеспечивающих высокое качество сварных соединений; дефицит персонала, способного обслуживать сложные ЭЛС-комплексы и разрабатывать новые технологические процессы; развитие конкурентных способов сварки, обеспечивающих высокое качество сварных соединений при более низких затратах.

В докладе от ПАО «ОДК-Сатурн» были подробно сформулированы проблемы ЭЛС, с которыми сталкиваются на предприятии и которые обозначают направления для развития технологии и оборудования. К техническим проблемам относятся: низкая скорость создания вакуума; низкая эмиссионная стойкость катодов из гексаборида лантана; оценка эмиссионной способности катода (заключение о работоспособности); отсутствие систем контроля пространственно-энергетических



Колесо рабочее 1 ст. КВД из сплава ВТ41

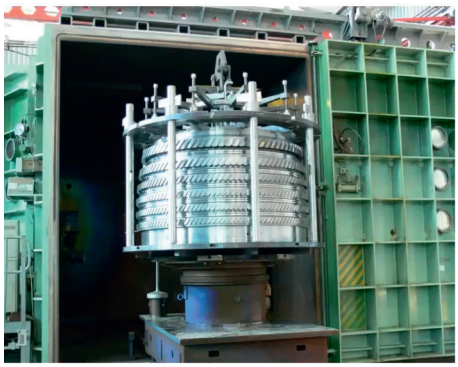


Колесо рабочее 2 ст. КВД из сплава ВТ41

Сварной узер рабочего колеса 1 ст. и рабочего колеса 2 ст. КВД из сплава ВТ41 после окончательного фрезерования лопаток

← Рис. 1. Детали и сварной узел ротора КВД из сплава ВТ41. Фото: АО «ОДК»

Рис. 2. Секция ротора 4–6 ст. КВД (сварной узел — диск 4 ст. + диск 6 ст. + вал КВД) из сплава ВЖ172-ИШ. Фото: АО «ОДК»



Барабан 5–10 ступени (в оснастке для сварки)

Цапфа-диск 4 ст.

Рис. 3. Детали, сваренные на установке ЭЛУР-1АТ. Фото: ПАО «ОДК-Сатурн»

параметров электронного луча, совмещения электронного луча со свариваемым стыком, положения луча относительно свариваемого стыка; отсутствие систем контроля и стабилизации глубины проплавления; создание длиннофокусной малогабаритной ЭЛ-пушки для ЭЛС под углом 90° барабанов изнутри. К технологическим проблемам относятся: устранение корневых дефектов при ЭЛС; отсутствие расчетных моделей процесса ЭЛС в различных условиях; ремонт дефектных участков с подачей присадочной проволоки; размагничивание деталей перед ЭЛС.

НОВИНКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Сообщения, представленные на конференции от отечественных производственных компаний, подтверждают активное развитие направления в стране. Так, на выставке Weldex НПК «ТЭТА» был продемонстрирован концепт новой электронной накамерной пушки, в которой заложены лучшие решения компании за последние годы. Компания расширила продуктовую линейку и вывела в 2021 году на рынок новые установки: TETA CA10 для сварки в контролируемой среде и TETA DW100 для диффузионной сварки в вакууме деталей весом до 100 кг и диаметром до 200 мм (**рис. 4**). Также на АО «РКЦ «ПРОГРЕСС» (г. Самара) была поставлена первая в истории компании установка электронно-лучевой проволочной наплавки TETA 30E1500–3D с объемом камеры 15 м^3 для изготовления заготовок шар-баллонов из титанового сплава с объемом до 130 литров (подробнее в журнале «Аддитивные технологии» № 3'2021). Компания постоянно ставит перед собой новые задачи, проводит исследования, совершенствует выпускаемое оборудование.

а)

У НИТИ «Прогресс» — крупного машиностроительного предприятия, имеющего серьезные компетенции в области ЭЛС, — за два прошедшие с прошлой конференции года также появились новости и новинки. На основе выпущенного в 2019 году энергоблока предприятием уже реализованы 15 проектов. С 2021 года данный энергоблок оснащается высоковольтными инверторными источниками питания модульного типа исключительно собственного производства. Каждый модуль имеет номинальную мощность 12 кВт. В источнике обеспечивается параллельная работа от 1 до 5 модулей, т.е. суммарная мощность составляет от 12 до 60 кВт. НИТИ «Прогресс» — единственная компания в России, которая изготавливает установки электронно-лучевой сварки с внутрикамерным антропоморфными манипуляторами собственной разработки. Использование манипулятора позволяет максимально эффективно использовать внутренний объем рабочей камеры установки, а совместно с разными средствами механизации — выполнить сварку любых швов.

В 2020 г. предприятием был обновлен собственный рекорд по выпуску самой крупной установки ЭЛС, произведенной в современной России. Ей стала установка с объемом камеры 160 м^3, изготовленная по заказу ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия» (**рис. 5**). В рамках договора была также выполнена технологическая оснастка, разработана технология сварки и выпущен первый комплект деталей. Успешное завершение проекта определило новый заказ из «Роскосмоса» на две установки с таким же объемом рабочей зоны, который и был успешно выполнен. Сейчас оборудование находится в стадии приемо-сдаточных испытаний. При определенной схожести проекты имеют и отличия, особенно в части механического оснащения.

В 2021 году предприятием была произведена установка ЭЛС с ускоряющим напряжением 150 кВт, в рамках которого была решена интересная инженерная задача по защите персонала от рентгеновского излучения.

Что касается аддитивного направления, то установка двухлучевого сплавления проволоки

б)

Рис. 4. Установка TETA DW100 для диффузионной сварки в вакууме (а); установка сварки в контролируемой среде TETA CA10 (б). НПК «ТЭТА»

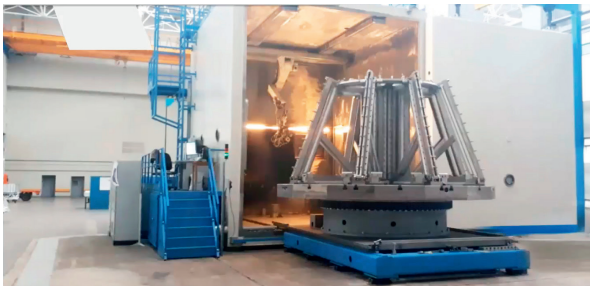


Рис. 5. Установка электронно-лучевой сварки НИТИ «Прогресс» и выполненный на ней сварной корпус космического корабля «Орел». Фото: НИТИ «Прогресс»

была изготовлена и передана партнеру — Пермскому политехническому университету для разработки технологии сплавления и программного обеспечения (ПО). В рамках же предприятия на базе АЭЛТК-8 ведется разработка специализированного узла и ПО, которые позволят любую установку НИТИ «Прогресс» превратить в 3D-принтер. При этом функция сварки сохраняется.

НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Что касается тематики представленных на конференции научных докладов, то она включала теоретические, расчетно-экспериментальные, технические, технологические, конструкторские исследования и разработки по следующим направлениям:

— моделирование и управление процессами ЭЛС;
— оптимизация режимов при кристаллизации металла;
— аддитивные электронно-лучевые технологии;
— сварка разнородных материалов;
— способы электронно-лучевой модификации поверхности материалов и изделий;
— влияние режимов электронно-лучевых технологий на формирование структуры и физико-механических свойств материалов и изделий;
— оборудование и процессы импульсной электронно-пучковой модификации поверхности материалов и изделий;
— новое оборудование для ЭЛС;
— методы и технические средства оперативной диагностики физико-механических свойств и конструкционной прочности сварных соединений.

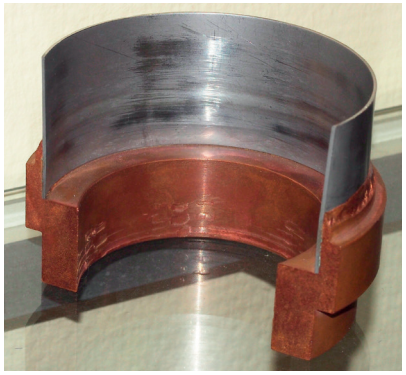
Организационный комитет отметил и наградил лучшего докладчика подпиской на журнал «Сварочное производство». Им стал Алексей Николаевич Поляков, главный сварщик ПАО «ОДК-Сатурн».

В ходе конференции было отмечено, что дальнейшее развитие технологии в России могло бы ускорить создание независимых экспертно-технологических центров со следующими функциями: оценка экономической эффективности внедрения технологии ЭЛС, разработка технологии ЭЛС и оценка качества сварных соединений, выбор оборудования и внедрение технологии на предприятиях, обучение персонала. Такие работы могут, например, проводиться на кафедре технологии металлов НИУ «МЭИ», где есть необходимое оборудование и специалисты. И конечно, необходима постоянная разработка новых технологических решений (**рис. 6**), таких как: аддитивные технологии, соединение материалов, имеющих ограниченную свариваемость, развитие новых способов обработки материалов электронным пучком. Например, среди последних работ НИУ «МЭИ»: исследование характеристик плазменных потоков, возникающих в процессе ЭЛС; моделирование процессов тепломассопереноса при ЭЛС и электронно-лучевом аддитивном формообразовании, экспериментальные исследования динамического состояния парогазового канала и сварочной ванны при ЭЛС и наплавке, разработка методов контроля параметров технологических электронных пучков, расчет и разработка конструкций технологических электронных пушек, разработка математических моделей роста кристаллов в сварочной ванне при ЭЛС жаропрочных никелевых сплавов и др.

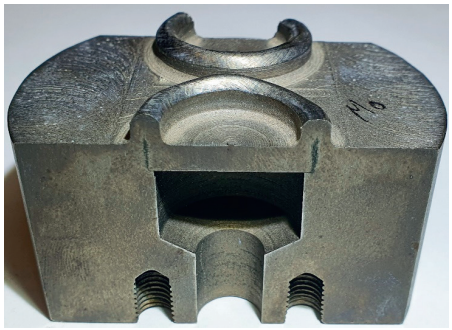
С видеозаписью конференции и сборником можно ознакомиться на сайте **https://ebw.mpei.ru/Pages/default.aspx**

Следующую конференцию намечено провести в 2023 г. на базе НИТИ «Прогресс» в г. Ижевске.

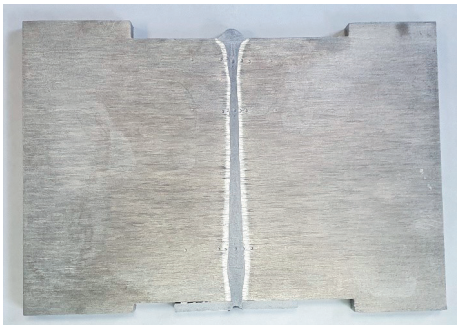
Татьяна Карпова



а)



б)



в)

Рис. 6. Образецы, выполненные в МЭИ для отработки технологии: а) электронно-лучевая пайка-сварка меди М1 и стали 12Х18Н10Т; б) электронно-лучевая сварка и герметизация каналов охлаждения в конструкциях из молибдена марки МЧВП; в) электронно-лучевая сварка сплавов на основе алюминия. Несущие конструкции в авиастроении: сплав АМг6 толщиной 120 мм

НАУКА — МАШИНОСТРОЕНИЮ

В декабре 2021 г. в Институте машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН, г. Москва) прошла VII Международная научная конференция «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении». Какие же научные направления, актуальны для рассмотрения в сфере машиностроения?

В наименование рабочих секций были вынесены темы: робототехника и автоматизация технологических процессов, цифровые и аддитивные технологии, трибология, сварка трением, перспективные конструкционные и трибологические материалы, покрытия, проблемы прочности и надежности. И стоить отметить, что задачи, которые приходится решать на современном уровне, уже не ограничиваются описанием процессов и подбором режимов. Требуется моделирование и предсказание результатов, разработка и применение принципиально новых материалов и конструкций.

Например, сварка трением с перемешиванием (СТП) трудносвариваемых материалов прочно вошла в технологию XXI века. Ее используют при получении неразъемных соединений как одноименных, так разноименных металлов и полимерных материалов в целом ряде отраслей. Задача, которая решалась ИМАШ РАН и Университетом ИТМО (Санкт-Петербург), включала получение аналитических зависимостей для проведения инженерных теплофизических расчетов и остаточных напряжений, по которым можно оптимизировать режимы сварки обратным путем, а именно — скорости вращения и перемещения инструмента и давление. То есть, подставляя в формулы оптимальную температуру, полученную экспериментальным путем, можно определять рациональные скорость и давление. Оптимизация остаточных напряжений аналогична.

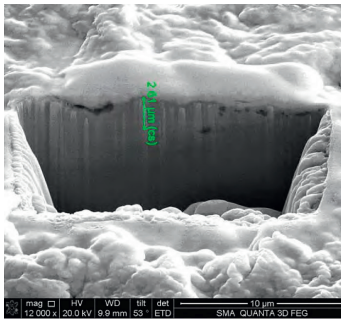


Рис. 1. Результат гидроабразивной обработки и вид защитной нанопленки

Или другой пример. Антикоррозийная защита металла — первостепенная и всегда актуальная проблема в решении вопроса обеспечения долговечности металлических конструкций при атмосферных воздействиях и в агрессивных средах. Эта задача также может выходить за привычные рамки. В последнее время чрезвычайную важность представляют исследования по изучению закономерности трения и изнашивания в условиях открытого космоса и определение достоверных характеристик трения материалов для прогнозирования работоспособности узлов и агрегатов.

Одним из путей повышения ресурса деталей является нанесение на контактирующие поверхности упрочняющих покрытий. Из докладов можно было узнать о квазикристаллических сплавах, нашедших применение в качестве антифрикционных покрытий, стеклянных пленках на водной основе оксида циркония, композитных покрытиях и др. Например, интересна новая технология гидроабразивной обработки поверхности металла, которая позволяет за один технологический прием проводить операции обезжиривания, струйной очистки от загрязнений, ингибирования от атмосферной коррозии, мойки и сушки. Эффект достигается за счет введения в движущийся с высокой скоростью поток энергоносителя (до 400 м/с) специального гидроабразивного состава, использующего эффект дилатансии. При определенной скорости деформации, суспензия начинает вести себя, как неньютоновская жидкость. В результате воздействия скоростного потока суспензии на поверхности образуется защитная нанопленка, обеспечивающая повышенную антикоррозионную стойкость металла (**рис. 1**).

Из других прикладных тем можно выделить следующие: использование технологии криогенной лазерно-ударно-волновой обработки в машиностроительных изделиях, разработка программно-аппаратного комплекса для определения режима трения в гидродинамическом подшипнике, технология механической обработки вафельного фона с использованием программно-копировальной стратегии обработки; 3D-печать металлом с импульсным лазерным нагревом; анализ особенностей моделей мехатронных систем для построения цифровых двойников и др.

Что касается цифровых двойников, то нельзя не отметить, что по решению ученого совета ИМАШ РАН в институте была создана новая Лаборатория цифровых методов управления жизненным циклом изделий машиностроения, которая вошла в состав отдела «Трение, износ, смазка. Трибология». Среди направлений ее деятельности:

- разработка научных основ создания новых машин, совершенствования конструкций и технологий изготовления изделий;
- развитие фундаментальных научных исследований в различных областях машиностроения, совершенствование современных аналитических и вычислительных методов исследования математических моделей процессов и состояний;
- обеспечение работоспособности на всех этапах жизненного цикла изделий на основе цифрового проектирования, компьютерного моделирования и конструирования;
- разработка новых методов и средств испытаний изделий в различных условиях эксплуатации;
- разработка программного обеспечения для автоматизации процессов управления техническим состоянием и создания цифровых двойников изделий машиностроения;
- проведение фундаментальных, прогнозно-поисковых и прикладных исследований в области создания методов и средств обеспечения взаимодействия в системах «оператор — машина»;
- обоснование режимов эксплуатации и ресурса изделий, мероприятий и технологий восстановления работоспособности изделий машиностроения, обоснование стратегий и способов утилизации, переработки изделий и рециклинга материалов для управления их техническим состоянием на всех этапах жизненного цикла изделий.

А это значит, что на следующей конференции эти темы также будут представлены новыми исследованиями и разработками.

Сборник трудов конференции можно скачать по ссылке: https://disk.yandex.ru/d/0OYGWaceRLifkA

Татьяна Карпова

АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОСТАНОЧНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОНТРАКТОВ ГОЗ

Разбивая работу на отдельные участки и поручая ее большому числу работников, вы можете зайти так далеко, что уже никто не будет представлять себе процесс в целом и колеса начнут вращаться вхолостую.
Билл Гейтс

ОДНИМ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОНТРАКТОВ ГОЗ ЯВЛЯЕТСЯ МНОГОСТАНОЧНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ (МСО). ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ В ПРАКТИКУ МСО, КАК ПОКАЗЫВАЕТ ОПЫТ МНОГИХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЕТ ДОСТИЖЕНИЕ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РЕЗУЛЬТАТА.

Ряд законодательных актов, постановлений, приказов и распоряжений органов исполнительной власти, регламентирующих деятельность предприятий ОПК в сфере ГОЗ, направлен не только на обеспечение финансовой прозрачности, строгое обоснование цены продукции. Высокий уровень регламентации данной сферы формирует векторы приложения усилий по повышению результативности деятельности на основе стимулирования снижения затрат и обеспечения прибыльности при поставках продукции ГОЗ на фоне совершенствования организации производства, труда и управления[1].

Грамотно организованное многостаночное обслуживание является эффективным инструментом улучшения использования технологического оборудования и кадрового потенциала предприятия ОПК. С ростом технической оснащенности меняются трудовые функции работника. Автоматизация и цифровая трансформация производства формируют потребность в контроле хода технологического процесса, обслуживания и наладки оборудования, управления его работой [4].

Проектирование организации многостаночного обслуживания на основе математического моделирования и оптимизации вариантов МСО дает возможность обосновывать и выбирать варианты внедрения, избегая метод проб и ошибок в результате применения на производстве данной формы.

В условиях нециклических производственных процессов, когда оборудование на производственном участке требует обслуживания в случайные моменты и, как следствие, возможны непроизводительные простои в работе оборудования, математическое моделирование процедуры МСО является наиболее эффективным способом выбора оптимального варианта его организации.

Отличительной особенностью МСО от других форм организации труда является последовательная работа одного работника, группы или бригады на двух и более одновременно работающих станках. При этом обслуживание одного из станков работником производится во время автоматизированной работы других станков.

Основными техническими мероприятиями организации и проведения МСО являются:

- сокращение доли ручных операций или их элементов;
- автоматизация производственного процесса;
- оснащение станков средствами сигнализации, показывающими необходимость их обслуживания.

К числу организационных мероприятий МСО следует относить решение вопросов:

- перепланировки расположения оборудования;
- обеспечения удобства обслуживания;
- уменьшения протяженности переходов работников в процессе обслуживания;
- обеспечения (организации) бесперебойного обслуживания рабочего места многостаночника всем необходимым;
- оптимальной комплектации деталей и сборочных единиц по сходным конструктивным и технологическим характеристикам;
- определения оптимальных размеров партий обрабатываемых деталей;
- обеспечения рабочего места средствами связи с обеспечивающими службами;
- овладения смежными профессиями.

Все многообразие подходов к организации и нормированию МСО можно свести к следующим основным группам, формируемым по характеру выполнения:

- одинаковых операций на одинаковом оборудовании;
- различных операций на однотипном оборудовании;
- различных операций на разнородном оборудовании;
- операций равной длительности;
- операций неравной, но кратной длительности;
- операций неравной и некратной длительности;
- операций в цикле за один подход;
- операций в цикле за два и более подходов;
- циклически повторяющихся операций;
- нециклических операций;
- комбинированных операций.

Методическое обеспечение организации и нормирования таких операций при многостаночном обслуживании представлено в научных и методических изданиях, разработанных в прошлые годы [5–9].

Несмотря на многообразие разработанных методик, все они отличаются одним общим свойством — высокой степенью трудоемкости выполнения расчетов, анализа, обоснования и выбора оптимального варианта МСО.

[1] ФЗ-275 от 29.12.2012 г. «О государственном оборонном заказе». Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 8 февраля 2019 г. № 334 «Об утверждении порядка определения состава затрат, включаемых в цену продукции, поставляемой в рамках государственного оборонного заказа».

Приказ Федеральной антимонопольной службы Российской Федерации от 26 августа 2019 г. № 1138/19 «Об утверждении форм документов, предусмотренных положением о государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу», утвержденный постановлением Правительства российской федерации от 2 декабря 2017 года № 1465.

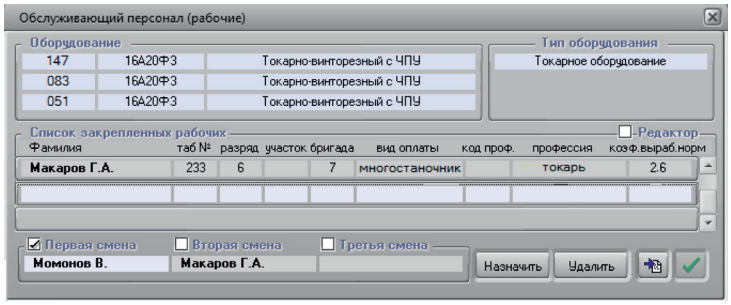


Рис. 1. Назначение многостаночника — оператора токарных станков с ЧПУ 16Ф20Ф3 — на выполнение планового задания (MES «ФОБОС», Россия)

Продемонстрируем процедуру автоматизированного выбора варианта многостаночного обслуживания на следующем примере.

На участке токарной обработки после поступления новой партии заготовок в ходе фото- и хронометражных исследований по результатам проведенного анализа у токаря 6 разряда (оператора токарных станков с ЧПУ) выявлена значительная доля времени пассивного наблюдения. Дальнейший анализ организационных и технических условий выполнения работ (одинаковые заготовки обрабатываются на взаимозаменяемом автоматическом оборудовании: станках-дублерах модели 16А20Ф3) показал возможность организации многостаночного обслуживания. Покажем расчет и обоснование варианта многостаночного обслуживания на основе использования уравнений детерминированной связи, а также с применением системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) и последующей процедурой составления оптимального производственного расписания для работ МСО средствами исполнительной производственной системы (MES Manufacturing Execution System).

Допустим, что один рабочий-многостаночник получил задание на обслуживание сразу нескольких станков. Тогда в MES-системе он рассматривается уже как исполнительный ресурс, работу которого необходимо тщательно спланировать, чтобы избежать необоснованных простоев оборудования перед началом выполнения очередной операции. Пример процедуры назначения многостаночника на выполнение планового задания представлен на **рис. 1**.

Токарная обработка вала для одного станка при серийном типе производства имеет следующее распределение затрат рабочего времени:

— время вспомогательное неперекрываемой (ручное) $t_{вн}$ — 1,5 мин.;

— время вспомогательное перекрываемой $t_{вп}$ — 5,5 мин.;

— время активного наблюдения $t_{ан}$ — 0,5 мин. [2];

— время перехода работника от станка к станку $t_{пер}$ — 0,1 мин. Станки имеют кольцевое расположение со средним расстоянием L друг от друга 3 метра. Норма времени на переход в 1 м устанавливается в пределах от 0,015–0,016 мин.[3];

— время машинной обработки $t_м$ — 25 мин.

Количество деталей в парии Q — 60 ед.

Тогда время занятости работника составит

$$t_з = t_{вн} + t_{вп} + t_{ан} + t_{пер} = 1{,}5 + 5{,}5 + 0{,}5 + 0{,}1 = 7{,}6 \text{ мин.}$$

Расчет времени автоматизированной обработки (машинно-свободного) $t_{мс}$ дает значение

$$t_{мс} = t_м - (t_{вп} + t_{ан} + t_{пер}) = 25 - (5{,}5 + 0{,}5 + 0{,}1) = 18{,}9 \text{ мин.}$$

Соотношение $t_з$ и $t_{мс}$ дает основание сделать вывод о возможности поручить работнику выполнить обслуживание дополнительного оборудования.

Рассчитаем возможное количество станков, которое может обслужить один работник $N_о$.

$$N_о = \left(\frac{t_{мс}}{t_з} + 1\right) \cdot K_д = \left(\frac{18{,}9}{7{,}6} + 1\right) \cdot 0{,}9 = 3{,}14 \text{ станка,}$$

где $K_д$ — коэффициент допустимой занятости, учитывающий наличие микропауз у работника в цикле многостаночного обслуживания для предупреждения утомляемости.

Устанавливается: 0,7–0,8 — для универсального оборудования; 0,75–0,85 — для полуавтоматического; 0,8–0,9 — для автоматического.

Принимаем в качестве нормативного значения количество обслуживаемых станков $H_о$, равное 3 в соответствии с требованием условия:

$$H_о \le N_о \quad (3 \le 3{,}14).$$

Определяем время цикла многостаночного обслуживания:

$$t_ц = t_{мс} + t_з = 7{,}6 + 18{,}9 = 26{,}5 \text{ мин.}$$

Проводим выбор и обоснование оптимальных норм обслуживания и численности.

При выбранном варианте нормы обслуживания у работника будет свободное время. Длительность свободного времени $t_{пр}$ составит

$$t_{пр} = t_ц - \sum_{i=1}^{n} t_з = 26{,}5 - 7{,}6 + 7{,}6 + 7{,}6 = 3{,}7 \text{ мин.,}$$

где i — номер станка из числа станков, принимаемых к обслуживанию.

Рассчитываем фактический коэффициент загрузки работника при установленном значении нормы обслуживания станков:

$$K_{зрф} = \frac{\sum t_з}{t_ц} = \frac{7{,}6 + 7{,}6 + 7{,}6}{26{,}5} = 0{,}86.$$

Определяем нормативный коэффициент загрузки работника и сравниваем с фактическим коэффициентом:

$$K_{зрн} = 1 - \frac{t_{отл} + t_{доп}}{T_{см}} = 1 - \frac{30 + 25}{480} = 0{,}88,$$

где $t_{отл}$ — время на отдых и личные надобности, установленное на смену. Принимается равным 30 мин.[4];

[2] Время активного наблюдения в случае отсутствия данных хронометражных исследований может быть установлено в значении 5% от времени основного $T_о$.

[3] При кольцевом расположении оборудования $t_{пер} = N \cdot L \cdot 0{,}015$ (где N — возможное количество обслуживаемого оборудования).

[4] Время на отдых и личные надобности может быть установлено по данным фото и хронометражных исследований, в соответствии с правилами трудового распорядка подразделения, по нормативным значениям, приведенным в сборниках нормативов по труду прошлых лет, или рассчитано в соответствии с методическими рекомендациями различных организаций.

$t_{доп}$ — продолжительность выполнения наладки, мелкого ремонта станков и др. в процессе работы. Принимается равным 25 мин.

Проверяем полученное значение фактического коэффициента загрузки на соответствие требованиям условия

$$K_{зрф} \le K_{зрн},\ 0{,}86 \le 0{,}88.$$

Определяем фактический коэффициент загрузки станков *Кзсф*.

$$K_{зсф} = \frac{H_о \cdot t_ц - t_{пс}}{H_о \cdot t_ц} = \frac{3 \cdot 34{,}5 - 0}{3 \cdot 34{,}5} = 1,$$

где $t_{пс}$ — время простоя станка в ожидании обслуживания. В нашем примере $t_{пс} = 0$.

Нормативный коэффициент загрузки станков или коэффициент использования одного станка по машинному времени для обеспечения программы выпуска $K_{зсн}$ определяется на основе следующей методики:

$$K_{зсн} = \frac{N_{ср}}{H_о},$$

где $N_{ср}$ — среднее количество действующего оборудования, необходимого для обеспечения программы выпуска (устанавливается по плановому периоду). Определяется по формуле:

$$N_{ср} = \frac{\sum Q_i \cdot t_{мсед}}{Ф_{ро}},$$

где $\sum Q_i$ — программа выпуска продукции i-вида, ед.; $t_{мсед}$ — время машинно-свободное на единицу продукции i-вида, мин.; $Ф_{ро}$ — плановый реальный фонд времени работы одной единицы оборудования, мин.

Проверяем фактический коэффициент загрузки станков на соответствие условию:

$$K_{зсф} \ge K_{зсн}.$$

В нашем примере расчет значения нормативного коэффициента загрузки станков не производим ввиду того, что условие выполняется при любом его значении, которое не может быть больше 1.

Таким образом, установленная норма обслуживания 3 для одного работника при выполнении работ на станках-дублерах соответствует требованиям условий эффективной организации многостаночного обслуживания (**рис. 2**).

Проведем нормирование обоснованного варианта многостаночного обслуживания. Рассчитаем время оперативное $t_{оп}^{мсо}$, время штучное $t_{шт}^{мсо}$, норму выработки $H_{выр}^{мсо}$, норму длительности $H_{д}^{мсо}$ и норму времени (трудоемкости) $H_{вр}^{мсо}$ для условий многостаночного обслуживания.

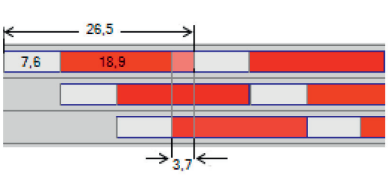
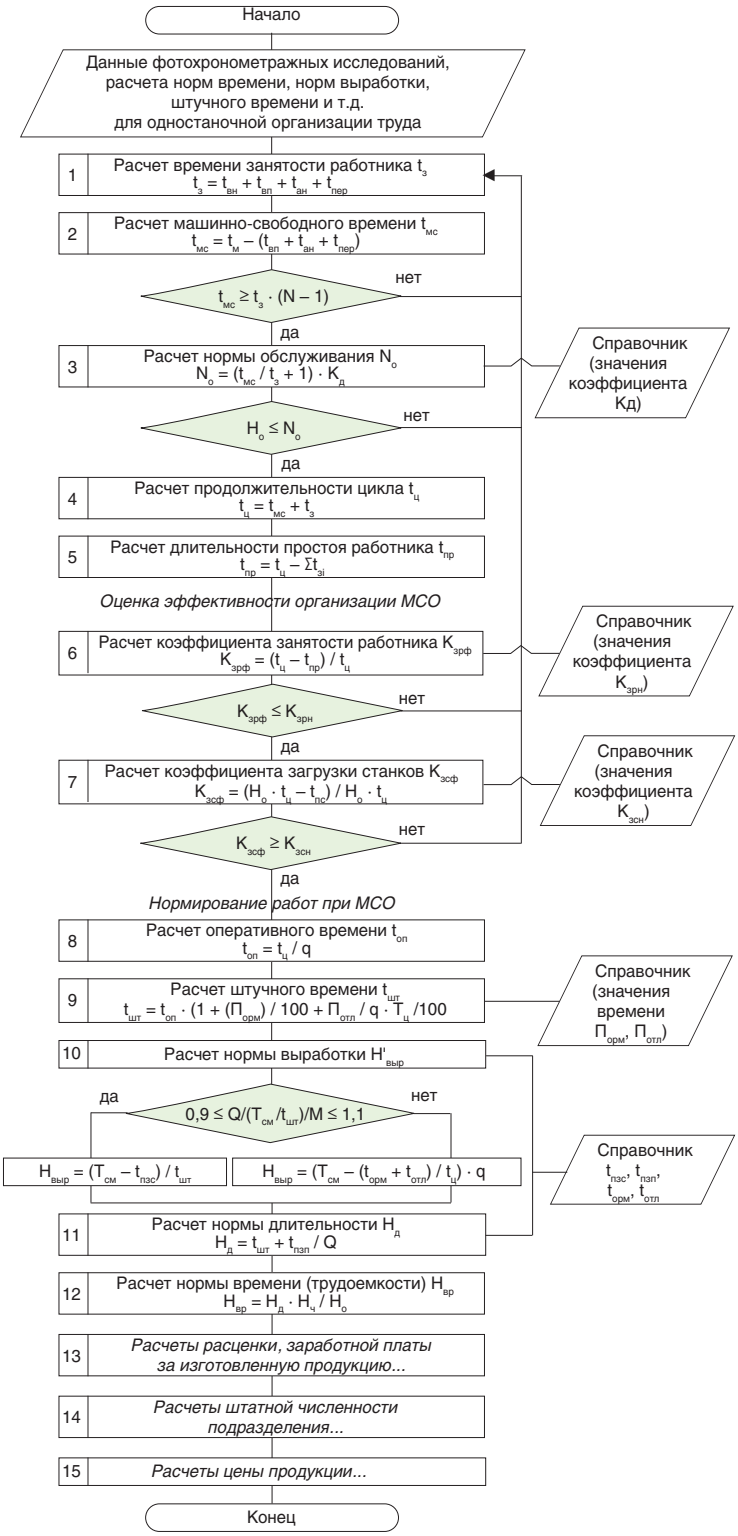


Рис. 2. Определение времени цикла многостаночного обслуживания на основании хронометража и расчетов.



$t_{вн}$ — время вспомогательное неперекрываемое;
$t_{вп}$ — время вспомогательное перекрываемое; $t_{ан}$ — время авктивного наблюдения;
$t_{пер}$ — время переходов; $t_м$ — время машинной работы;
$K_д$ — коэффициент допустимой занятости работника в цикле;
$H_о$ — нормативная (установочная) норма обслуживания станков;
$\Sigma t_{зi}$ — общее время занятости всех станков; i — номер станка (i = 1, 2, ..., n);
МСО — многостаночное обслуживание;
$K_{зрн}$ — нормативный коэффициент занятости работника;
$K_{зсн}$ — нормативный коэффициент загрузки станков;
q — количество изделий, изготовленных за один цикл;
$П_{ор}м$, $П_{отл}$ — соответственно время на обслуживание рабочего места и отдыха и личные надобности, в % от оперативного времени;
$t_{пзс}$ — время подготовительно-заключительное на смену;
$t_{орм}$, $t_{отл}$ — соответственно время на обслуживание рабочего места и отдыха и личные надобности на смену; $t_{пзп}$ — время подготовительно-заключительное на партию деталей;
Q — количество изделий в партии; M — количество рабочих смен изготовления партии;
Тсм — продолжительность рабочей смены

Рис. 3. Блок-схема алгоритма организации и нормирования МСО на участке механообработки

$$t_{оп}^{мсо} = \frac{t_ц}{q} = \frac{26,5}{1} = 26,5 \text{ мин.},$$

где q — количество изготовленных деталей за один цикл.

$$t_{шт}^{мсо} = t_{оп}^{мсо} \cdot \left(1 + \frac{П_{орм}}{100}\right) + \frac{П_{отл}}{q} \cdot \frac{t_ц}{100} =$$

$$= 26,5 \cdot \left(1 + \frac{9}{100}\right) + \frac{5}{1} \cdot \frac{26,5}{100} = 30,21 \text{ мин.},$$

где $П_{орм}$, $П_{отл}$ — время соответственно на обслуживание рабочего места, а также на отдых и личные надобности,%. Устанавливаются соответственно 9% и 5%.

Ввиду того, что сменная выработка примерно кратна (–/+ 10%) количеству изделий в партии[5], расчет нормы выработки производим через время штучное:

$$H_{выр}^{мсо} = \frac{T_{см} - t_{пзс}}{t_{шт}^{мсо}} = \frac{480 - 15}{30,21} = 15,39 \text{ ед.},$$

где $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены, мин.; $t_{пзс}$ — время подготовительно-заключительное для условий многостаночного обслуживания на смену, мин. Устанавливается в размере 15 мин.

$$H_д^{мсо} = t_{шт}^{мсо} + \frac{t_{пзп}}{Q} = 30,21 + \frac{60}{60} = 31,21 \text{ мин.},$$

где $t_{пзп}$ — время подготовительно-заключительное на партию деталей, мин. Устанавливается в размере 60 мин.; Q — количество деталей в партии, ед.

$$H_{вр}^{мсо} = H_д^{мсо} \cdot \frac{H_ч^{мсо}}{H_о} = 31,21 \cdot \frac{1}{3} = 10,40 \text{ чел-мин.},$$

где $H_ч^{мсо}$ — норма численности при многостаночном обслуживании, чел. Для нашего примера $H_ч^{мсо} = 1$.

На **рис. 3** приведена блок-схема алгоритма организации и нормирования многостаночного обслуживания на участке механообработки, полученного на основе использования уравнений детерминированной связи.

Алгоритм реализуется последовательно в системе автоматизированного проектирования технологических процессов САПР ТП ПМК «ДЕЙМОС» [10, 11]. Затем на основе полученных норм времени производится расчет оптимального производственного расписания не только для оборудования, связанного с МСО, но и для всех остальных станков цеха; детальное пооперационное расписание формирует исполнительная производственная система MES «ФОБОС» [12, 13].

На **рис. 4** приведен фрагмент оптимального производственного расписания (диаграмма Гантта) для рассмотренного варианта МСО на участке механообработки, включающем станки-дублеры, (три токарно-винторезных станка с ЧПУ модели 16А29Ф3 с одним обслуживающим их многостаночником Макаровым).

Далее покажем процесс нормирования работ средствами САПР ТП для оператора станков при выборе варианта МСО.

---

[5] Равенство или кратность сменной выработки и размера партии устанавливается посредством неравенства 0,9 ≤ Q / (Tсм/tшт) / M ≤ 1,1, где M — округленное целое количество дней изготовления партии.
В нашем примере: 0,9 ≤ 60 / 480 / 30,21 / 4 ≤ 1,1.

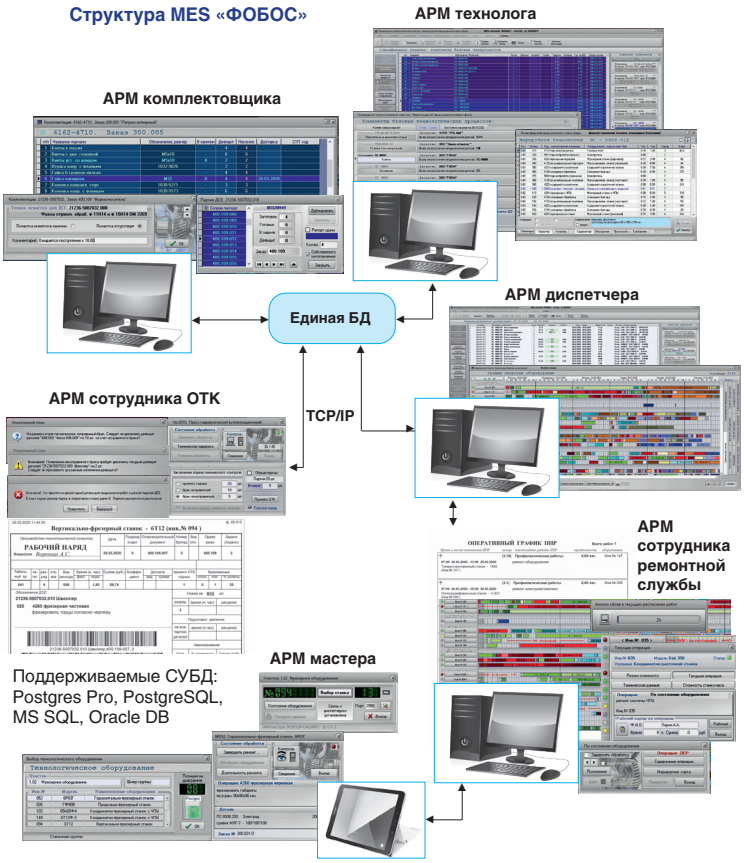
MES-СИСТЕМА «ФОБОС»
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

MES-система «ФОБОС» (№ 6297 Реестра российского ПО Минкомсвязи РФ), являясь одним из важнейших звеньев современного цифрового производства, предназначена для управления дискретным машиностроительным производством и ориентирована на оптимизацию внутрицеховых материальных потоков при наличии большой номенклатуры изготавливаемых изделий.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

1. **Расчёт производственного расписания.**
2. **Контроль прохождения заказов.**
3. **Расчёт загрузки технологического оборудования.**
4. **Формирование плана подачи заготовок и средств технологического оснащения.**
5. **Формирование планового рабочего задания.**
6. **Учёт техобслуживания и ремонтов оборудования, оптимизация ППР.**
7. **Контроль и учёт готовой продукции и качества в производстве.**
8. **Калькуляция себестоимости обрабатываемого заказа.**

Структура MES «ФОБОС»



Поддерживаемые СУБД: Postgres Pro, PostgreSQL, MS SQL, Oracle DB

«ФОБОС» является отечественной разработкой, что значительно упрощает процедуру доработки системы под нужды заказчика по сравнению с импортными аналогами.

fobos.mes@gmail.com
+79857761514, +79256212253, +79101368817

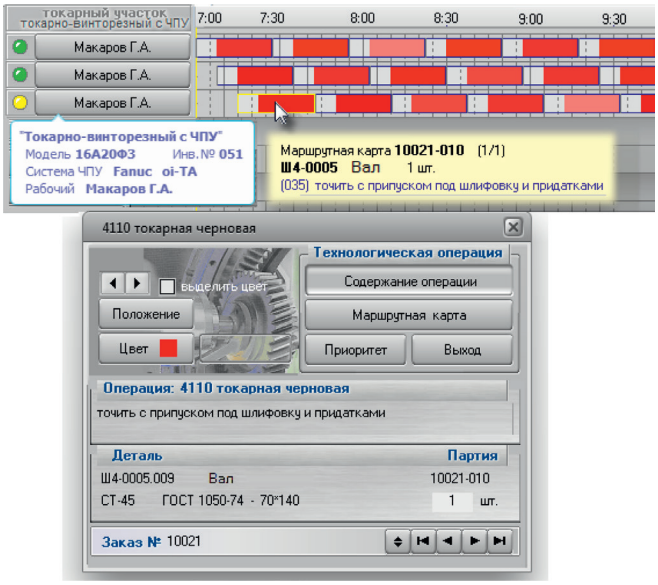


Рис. 4. Диаграмма Гантта с фрагментом многостаночного обслуживания для циклического процесса, включающего 3 станка.

Традиционно сложилось мнение, что система автоматизированного технологического проектирования должна предоставить только комплект технологической документации либо на основе имеющейся 3D-модели деталей и сборочных единиц (ДСЕ), либо при работе технолога в обычном диалоговом режиме. Никто, как правило, не задумывается о необходимости увязать цепочку специализированных систем САПР ТП и MES между собой, т.е. снабдить системы, которые идут вслед за технологическим проектированием, всей необходимой информацией для последующего пооперационного планирования работ.

А между тем только при гарантии обеспечения MES-системы качественными технологическими данными можно рассчитывать на то, что оптимизация на этапе расчета производственного расписания даст хороший результат. Качественные технологические данные в первую очередь подразумевают грамотно спроектированный технологический процесс (ТП), но не только. Для полноты информации необходимо наличие многовариантных и альтернативных ТП. Если вид заготовки и технологический маршрут (коды и последовательность операций) строго определены, то даже в этом случае можно сформировать громадное число различных ТП для изготовления одной конкретной ДСЕ. И это можно сделать только за счет формирования групп взаимозаменяемого оборудования (станочных групп) и привязки к ним соответствующих деталеопераций. В дальнейшем при таком огромном изобилии альтернатив задача расчета производственных расписаний выливается в крайне сложную и вычислительно трудоемкую проблему.

Подробные варианты формирования групп оборудования можно найти в статье [10]. Причем вариант автоматического определения состава станочных групп на основе теории профессора Б. М. Базрова гарантирует полноту и точность их формирования.

Помимо основных общепринятых функций некоторые САПР ТП, а именно программно-методический комплекс (ПМК) «ДЕЙМОС», обеспечивают качественную подготовку необходимых технологических данных для систем, располагающихся за ней в цепочке специализированного программного обеспечения, предназначенного для управления производством. Обычно это системы производственного учета и планирования различных уровней (ERP, MES, APS), PDM-системы, складские, бухгалтерские и т.д.

В данной статье рассмотрим интеграцию ПМК «ДЕЙМОС» с MES «ФОБОС» на примере подготовки данных для расчета оптимального варианта многостаночного обслуживания.

При организации и нормировании МСО, как и в случае расчета производственного расписания в MES, требуется спроектировать все технологические процессы, участвующие в выполнении заказов с необходимыми параметрами.

№ цеха	№ участка	№ операции	Код операции	Наименование операции	Код группы оборудования	$T_{пз}$	$T_{шт}$	Разряд
*	*	*	*	*	*	*	*	**

* — используется для расчета производственного расписания
** — используется для определения цены обработки

Кроме того, для оптимальной организации многостаночного обслуживания необходимо взаимодействие с САПР ТП, производящей соответствующие расчеты: время занятости работника, расчет машинно-свободного времени и т.д. А последующая оптимизация производственного расписания для выбранного варианта МСО средствами MES в итоге дает нужный результат, это:

1. Автоматизация расчета значений показателей при организации МСО (начиная от расчета оценочных показателей оптимального варианта и заканчивая расчетом цены изготовления продукции).
2. Автоматизация выбора оптимального варианта МСО.
3. Автоматизация построения графиков многостаночного обслуживания (оптимальное распределение во времени и пространстве выполняемых работ) в виде детального пооперационного производственного расписания.

Методика Код 138 "Нормирование МСО" Значения параметров

ШагN	Условие	Вид де	Имя действия	Аргументы действия	Таблица	Услови	След.ш
21				No=(tмс/tз+1)*Кд			22

Эксперт

Имя параметра таблицы методи	Значение параметра	Последствия выполнения шага
Аргументы действия	No=(tмс/tз+1)*Кд	
Условие перехода к след.шагу		выполняется следующий шаг №22

Рабочие параметры в начале выполнения шага методики

Имя	Наименование	Значение
НаимМет	Наименование методики	Нормирование МСО
Код	Код	138
ТочнОкр	Точность округления	3
tвн	Время вспомогательное неперекрываемое	1,5
tвп	Время вспомогательное перекрываемое	5,5
tан	Время активного наблюдения	0,5
tпер	Время переходов	0,1
tз	Время занятости работника на деталь	7,6
tм	Время машинное	25
КолСтанПредв	Предварительное кол-во станков	3
К	Коэф-т К	15,2
tмс	Время машинно-свободное	18,9

Рис. 5. Расчет необходимых показателей для организации МСО с помощью ПМК «ДЕЙМОС» (Россия) в режиме экспертной систем.

Реализация приведенного выше алгоритма (**рис. 3**) позволяет получить технологические данные посредством применения ПМК «ДЕЙМОС», **рис. 5**:

Далее в работу включается система оперативного планирования MES «ФОБОС» — исполнительная производственная система, составляющая производственные расписания на основе многокритериальной оптимизации. Данная система позволяет составлять 100 вариантов различных производственных расписаний в зависимости от выбора критериев оптимизации [15, 16]. На **рис. 6** приведен фрагмент производственного расписания (диаграмма Гантта) для цеха механообработки, включая участок токарно-винторезных станков с ЧПУ с многостаночным обслуживанием (**рис. 3**) для рассмотренного циклического процесса.

Для расчета оптимального расписания для выбранного варианта МСО был использован следующий набор оптимизационных критериев:

– ближайший срок готовности;
– равномерная загрузка станков;
– операция из конца очереди.

Таким образом, на примере одного из вариантов (циклический процесс для станков-дублеров) мы рассмотрели подходы к организации многостаночного обслуживания на основе традиционного анализа и обоснования с использованием уравнений детерминированной связи, а также с применением отечественных средств автоматизации, применяемых при организации производственных процессов на предприятиях ОПК. В следующих публикациях авторы представят примеры организации многостаночного обслуживания при иных характеристиках технологического и трудового процессов.

В заключение отметим, что эффективная организация многостаночного обслуживания на машиностроительном предприятии приводит к заметному сокращению цикла обработки изделий. Последнее обстоятельство особенно важно при выполнении контрактов ГОЗ, где сроки сдачи готовой продукции предприятиями ОПК имеют, как известно, критическое значение. Более того, автоматизация детального пооперационного контроля внутрицеховых материальных потоков средствами исполнительных производственных систем обеспечивает надлежащую прозрачность производства и позволяет значительно упростить раздельный учет внутрицеховых затрат по контрактам ГОЗ.

Сергей Викторович Малинин, к.э.н., доцент,
ведущий научный сотрудник ООО «НИИ Транснефть»,
г. Москва, sv_malininsv@mail.ru
Алия Рамилевна Бахтизина, к.э.н.,
заведующая сектором ООО «НИИ Транснефть»,
г. Москва, bakhtizina_aliya@mail.ru
Сослан Аланович Кесаев, к.э.н.,
старший научный сотрудник ООО «НИИ Транснефть»,
г. Москва, sa.kesaev@gmail.com
Василий Викторович Крюков, к.т.н., доцент ,
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, vvkrukov@yandex.ru,
Евгений Борисович Фролов, д.т.н., проф.,
член-корр. РАЕ, МГТУ «СТАНКИН»,
г. Москва, fobos.mes@gmail.com

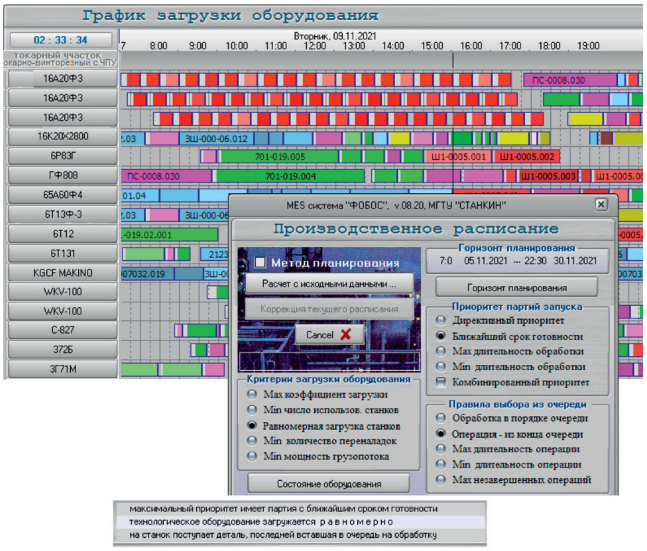


Рис. 6. Диаграмма Гантта: оптимальное расписание для цеха механообработки с фрагментом многостаночного обслуживания для циклического процесса.

Литература

1. Цифровая экономика Российской Федерации, утвержденная протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7. Москва.
2. Военная доктрина Российской Федерации (утв. Президентом РФ 25 декабря 2014 г. № Пр-2976). Военная доктрина Российской Федерации (утв. Президентом РФ 25 декабря 2014 г. № Пр-2976).
3. Антипина Е. А., Журенков Д. А., Шелоумов М. А. Диверсификация организаций оборонно-промышленного комплекса и гражданский рынок / ГОСЗАКАЗ: управление, размещение, обеспечение. 2019. № 56 [апрель – июнь].
4. Паршина И. С., Кривоногов С. А., Фролов Е. Б. Цифровые модели производственной системы на машиностроительных предприятиях ОПК.// РИТМ машиностроения. 2021. № 11. С. 14–16.
5. Калашникова С. Е., Серикова И. П. Сравнить несравнимое // Трубопроводный транспорт нефти. 2012. № 9. С. 14–17.
6. Генкин Б. М. Оптимизация норм труда. М.: Экономика, 1982. 200 с.
7. Серикова П. Ю., Бучнев А. О. Предпосылки формирования и характеристика совокупной многофакторной производительности как инструмента оценки эффективности ресурсоограниченных экономических систем // Науки и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018.№ 3. С. 338–351.
8. Миускова Р. П. Оптимизация трудовых процессов с использованием математических методов и микроэлементных нормативов времени. / Р. П. Миускова, Н. В. Комарова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: РУСАКИ, 2004. 226 с.
9. Развитие многостаночного обслуживания и расширение зон обслуживания в промышленности. Межотраслевые методические рекомендации и научно обоснованные нормативные материалы. М.: НИИ труда, 1983. 131 с.
10. Базров Б. М., Фролов Е. Б., Крюков В. В., Арзыбаев А. М., Сахаров А. В., Крюков А. В., Тимофеев Д. Е., Тришкин А. С. Автоматизированное проектирование технологии и формирование групп оборудования на основе интеграции САПР ТП и MES на принципах модульной технологии // Станочный парк. 2011. № 8. С. 66–73.
11. Базров Б. М., Фролов Е. Б., Крюков В. В. MES-системы для российского машиностроения: оптимальные производственные расписания и интеграция с САПР ТП на принципах модульной технологии, Доклад на третьей международной научно-практической конференции «Эффективные технологии управления производством». г. Москва. 2011.
12. Фролов Е. Б., Шаров В. Ф. Система технологической подготовки, планирования и контроля производства «ФОБОС» // Вооружение, политика, конверсия. 2001 № 5. С. 43–47.
13. Соломенцев Ю. М., Фролов Е. Б. Современные методы повышения эффективности машиностроительных производств // Технология машиностроения. 2015. № 8. С. 54–58.
14. Нестеров П. А., Косьяненко А. В., Фролов Е. Б. Выбор MES-системы для машиностроительного предприятия // РИТМ машиностроения. 2019. № 8. С. 10–15.
15. Фролов Е. Б., Загидуллин Р. Р. Промышленный софт для планирования машиностроительного производства: ERP, APS, MES // Главный инженер. 2020. № 5. С. 22–32.

К ВОПРОСУ О ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Образование — то, что остается после того, когда забывается все, чему учили.
А. Эйнштейн

В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ ОЧЕНЬ ЧАСТО СЛЫШАТСЯ ТРЕВОЖНЫЕ ВЫВОДЫ О ПРОВАЛЕ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ЧАСТНОСТИ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ. АНАЛИЗ ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ЭТА ПРОБЛЕМА ЯВЛЯЕТСЯ МНОГОФАКТОРНОЙ, НО МОЖНО ВЫДЕЛИТЬ ЕЁ ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ, ЧТО И ПРЕДСТАВЛЕНО В ДАННОЙ СТАТЬЕ.

ПРОБЛЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Со стороны преподавательского состава (ППС) практически всех вузов в последние годы можно услышать, что основная проблема кроется в неправильном перераспределении бюджетных средств между отраслями. Фразы «нам недоплачивают», «высокая нагрузка», «принцип остаточного финансирования» можно встретить в каждой второй статье, посвящённой проблеме высшего образования. При этом виновниками плохого финансирования принято считать как руководство страны, так и министерства. Но анализ этой проблемы под названием «принцип остаточного финансирования» показывает, что и руководство страны, и министерские чиновники в этом не виноваты. Проблема становится прозрачной, если взглянуть на это с точки зрения экономики.

Дело в том, что в РФ очень низкая по сравнению с ведущими странами производительность труда — в 3–5 раз ниже, чем в передовых странах. При этом надо отметить, что эта нелицеприятная особенность была характерна и для СССР, и для царской России, несмотря на экономические реформы как начала века, так и в пору индустриализации СССР. Правда, ВВП страны в некоторые периоды времени рос достаточно динамично, но эта динамика оценивалась относительно низкой стартовой точки. В настоящее время номинальное значение ВВП в РФ (на душу населения) по оценке различных организаций (Международного валютного фонда, Всемирного банка, Организации объединённых наций) составляет весьма небольшое значение — мы находимся на 55–61 местах, уступая по номинальному значению ВВП: США — в 6 раз, Японии — в 4 раза. А от таких стран, как Люксембург (1 позиция в списке), Ирландия (2 позиция) и Швейцария (3 позиция), мы отстаём в 9–11 раз. То есть бюджет РФ оставляет желать лучшего. Естественно, что в РФ профессор получает заработную плату в разы меньше, чем в указанных выше странах. При этом надо учесть, что в силу неблагоприятной политической во все времена для РФ (и для царской России, и для СССР) составляющей стране приходится при распределении бюджета на вооружение тратить несколько больше, чем хотелось бы. Но уроки как первой мировой войны, так и второй, а также текущее положение показывают, что независимость и обороноспособность являются гарантами дальнейшего существования нашего государства.

Естественно, что при малом номинальном бюджете и указанных выше факторах политического характера финансирование высшего образования (как и здравоохранения, социальных институтов) по определению не может быть высоким.

Руководство СССР с этой проблемой справлялось весьма оригинально — была создана уравнительная система, когда врач и инженер получали примерно одинаковую зарплату. В то же время хорошие специалисты (даже рабочие) и ППС, а также академические работники с научными степенями получали заработную плату больше иногда в три раза, нежели врач, школьный учитель или инженер, т.е. была некоторая дельта, которая закладывалась в бюджет для таких целей. Остепенённый корпус ППС по сравнению, например, с 71 годом, вырос на порядок, но номинальное значение ВВП и производительность труда в этой же пропорции, увы, не выросли. Так откуда же возьмётся высокий уровень заработной платы?

Таким образом, мы видим, что причины неудовлетворительного финансирования высшего образования носят не субъективный, а экономический характер.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Бытует мнение, что в России работать не умеют. Так ли это на самом деле? Как ни странно, не всё так просто. Начиная с 1982–1983 гг. промышленность СССР взяла курс на инновации. При этом так много, как сейчас, об инновациях не писалось и не говорилось. На предприятиях машиностроительного профиля практически повсеместно внедрялись промышленные роботы и средства автоматизации. При этом передовое оборудование, новую технику, чаще всего проектировали сами же предприятия. Образцы новой техники, конечно же, уступали аналогам ведущих мировых держав, но были вполне работоспособными и повышали как уровень автоматизации производства, так и основной показатель — производительность труда. Новую технику проектировали не только предприятия, вузы и НИИ. Очень часто дипломные проекты студентов мало чем отличались от результатов профессиональных конструкторов и технологов. Этот бум продолжался до 1987 г. В 1987–1989 гг. вторая волна пресловутой перестройки существенно затормозила развитие страны в области инноваций. В сознание людей стали внедрять иные ценности. Дух стяжательства, лёгкой наживы приобрёл массовый характер. Менялось руководство страны и вся система управления. В результате после распада СССР в 1991 г. страна оказывается в стоянии политического и экономического коллапса. Шоковая терапия в экономике практически полностью ликвидировала многие очень важные отрасли промышленности. В настоящий момент мы практически не имеем своей электроники, предприятия, которые выпускали металлорежущие станки [1], либо прекратили своё существование, либо, как это можно видеть сейчас, превратились в небольшие фирмы, которые покупают либо готовые станки, либо их элементы в третьих странах (системы управления всё же приобретаются чаще у фирм Siemens, Bosch, Fanuc), потом делается кабинетное

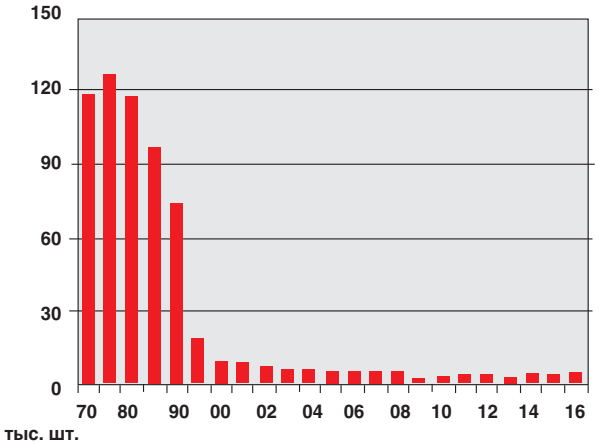


Рис. 1. Динамика производства металлорежущих станков. Источник: Федеральная служба государственной статистики

ограждение, на котором потом рисуется логотип этой маленькой фирмы.

Падение промышленности привело к адекватной реакции экономики в целом и социума — упал спрос на инженеров, так как с исчезновением предприятий и отраслей исчезла потребность в инженерных кадрах, но зато у населения повысился спрос на гуманитарные специальности, которые, конечно же, нужны, но не в таком количестве, так как труд философа не способствует росту производительности труда в той же мере, как труд инженера. Кроме того, учиться гораздо легче, ведь сопромат или основы электротехники сдавать не надо.

А как обстояли дела у теперешних лидеров мировой экономики в пору их восхождения на вершины?

В Японии в годы начала экономического роста повсеместно использовались, как ни странно, методы управления, которые использовались в СССР в годы индустриализации [2].

Рис. 2. Япония после второй мировой войны Источник: http://history-doc.ru/90-yaponiya-posle-vtoroj-mirovoj-vojny/

Упор делался в основном на промышленность. Столкнувшись с тем, что производство фонариков для велосипедов не поднимет их благосостояние, они стали учиться у тех, чьи войска еще совсем недавно принудили их к капитуляции. Японские инженеры объездили весь мир в поисках знаний, они были и в СССР, и в США, и во многих других странах. И везде впитывали те знания, которые бы в дальнейшем обеспечили повышение производительности труда и качество выпускаемой продукции. Для страны, которая не шагала «нога в ногу», они внедряли на своих предприятиях методы управления, характерные для СССР 30-х гг., — доски почёта, похвалу администрации фирм и весьма небольшие премии и бонусы. И главное — командный дух, дух коллективизма, общины, производственной бригады. И как оказалось впоследствии, на определённой стадии развития всё это давало очень неплохие результаты. Выход на мировой рынок не сопровождался рывком, был проведён тщательный анализ требований потребителей на мировом рынке. В результате в самом начале они сделали упор на электронику и автомобилестроение. Первые модели «Тойоты» были далеко не такими хорошими, как сейчас, но в годы мирового нефтяного кризиса их неприхотливые малолитражки выигрывали у многоцилиндровых бьюиков в стоимости владения. При этом как правительство, так и частный сектор всячески способствовали развитию передовых предприятий. Банки вкладывали свои деньги в долгосрочную перспективу. В результате мы имеем сейчас там, где восходит солнце, очень сильного в экономическом плане соседа, страну, с мнением которой считается весь мир.

Рис. 3. Япония. Автоматизация производства Источник: https://ru.wikipedia.org/wik/Автоматизация_производства

Китаю, развитие которого сравнивают с Японией, было немного сложнее, так как пришлось сначала поработать над системой управления, так как в годы правления Великого Кормчего была практически уничтожена любая передовая мысль.

Но они не стали менять свою систему управления, а методом ротаций руководителей, постепенно довели до уровня, который бы обеспечил им внятное руководство и правильный путь, — индустриализацию. Они постепенно начали поощрять частное предпринимательство. Не сразу, не путём шоковой терапии,

Рис. 4. Китай. Период культурной революции, 1966 г. Источник: https://ru.wikipedia.org/wiki/Хунвэйбины

а постепенно. Авторы статьи просят обратить внимание — постепенно, о чём и говорит Линь Ифу в своей работе [3]. Такая доктрина в СССР была, и она называлась НЭП. Но, к сожалению, не прижилась по вине партии, так как у неё была боязнь, что это приведёт не столько к реставрации капитализма, сколько к потере власти. Увы, руководство Китая не побоялось это сделать. И что мы сейчас видим? Очень оригинальный вариант капитализма с сильными элементами социалистического управления. При этом, как и в Японии, промышленное развитие Китая началось с электроники. Далее осваивались самые различные области промышленности, от фармацевтики и автомобилестроения до строительства. Китай не делал упор на ямочный ремонт своих дорог. Осознав влияние инфраструктуры на развитие промышленности, он вкладывался в развитие строительных отраслей. В результате производительность труда в строительстве у них сейчас на порядок выше, чем в РФ. У них самое большое количество в мире высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Рис. 5. Автопром Китая в наши дни
Источник: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автомобильная_промышленность_КНР

У нас часто говорят о необходимости адресного финансирования бизнеса. Они сделали иначе: предприниматель, который открывал бизнес в высокотехнологичной отрасли, получал кредит от банка под 1–1.5% в год. В нашей стране этот процент на порядок больше. При том, что уровень рентабельности в машиностроении априори не выше 10%.

И все указанные новации сделаны в стране, которая всего лишь полвека назад призывала население к уничтожению воробьёв ради спасения урожая и битью по голове «профессоров-оппортунистов» бамбуковыми палками. Несмотря на конфуцианские догмы о необходимости финансирования пожилых людей со стороны детей, они за 70 лет постепенно создали очень гибкую и эффективную пенсионную систему, которая постоянно модернизируется, шаг за шагом. Но при этом они не совершали, со времен ухода Великого Кормчего, никаких революций, коммунистическая партия Китая никуда не делась. Систему управления они не выбросили, как в нашей стране. Партия медленно, но верно, шаг за шагом, словно повернула памятник Мао Цзэдуну на 180 градусов, сказав при этом, что его рука всегда показывала в том направлении, что и сейчас.

ПЛАВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Так в чём же причина, почему наш менталитет не позволяет быстро перестроиться под новые условия? И было ли в том же Китае такое же зарегулирование и гегемония бюрократии, как у нас? Как ни странно, было, и не только в годы правления Мао Цзэдуна. Об этих проблемах писал ещё Цюй Юань (~343–279 гг. до нашей эры, Китай) в своих стихах [4]. Так как же это преодолеть?

Есть такое понятие, как последействие [5]. Это когда влияние состояния системы в момент i влияет на её состояние в момент времени i+1, т.е. для счётных состояний, которые присущи социуму.

Но встречаются системы и без последействия. Либо оно отсутствует, как в вычислительных процессах, либо весьма мало и мы можем им пренебречь. В этом случае мы имеем дело с процессами, которые называются марковскими.

Что это даёт для того или иного сообщества, страны? Это даёт повод задуматься о том, какой способ регулирования мы собираемся использовать. Если присутствует влияние последействия, то регулирование должно быть максимально плавным и описываться монотонной функцией с минимальной величиной её приращения.

Как это выглядит для управления страной и её экономикой? Очень просто. Рецепт один — в каждый новый момент времени i воздействие на систему, которая должна перейти в новое состояние, должно быть таким, чтобы оно не порождало сильного последействия в момент времени i+1 [10].

Что мы сделали на рубеже 80–90 гг. прошлого века? Мы очень быстро «укатали в асфальт» старую систему управления и ввели новую с её шоковой терапией в экономике. Помогло? Увы, нет. Но убило всё, что даёт молоко.

Любые кардинальные меры и резкие повороты всегда приводят к последействию системы. После Октябрьской революции возникло два потока миграции — добровольный, на Запад, и принудительный — в Сибирь. Потребовались годы, чтобы поднять промышленность и сельское хозяйство, подготовить новых специалистов, не говоря уже о болевом шоке большой части населения. Даже 50–70-процентное повышение тарифов на отопление в РФ, которое имело место быть в 2020 г., породило почти во всей стране хоть и небольшие, но стихийные митинги и недовольство, не говоря уже о том, что это очень сильно ударило по пенсионерам.

К сожалению, у нас до сих пор не вытравлен лозунг «Весь мир насилья мы разрушим до основанья, а затем мы наш, мы новый мир построим: кто был ничем, тот станет всем». Это не совсем логично. Это означает, что вы должны в состоянии аффекта снести старый дом, покосившуюся, но ещё пригодную для жилья избушку, а потом три месяца (или год) в ударном темпе строить новое жильё и спать под открытым небом. Но мы же так не делаем. Так зачем же нам шоковые методы, где обсуждение каждого нового шага, где плавность в регулировании? Так что последействие — это очень важное свойство системы, а оно в нашей стране очень сильно выражено, и это надо учитывать при управлении.

УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА

Есть такая фраза, которая звучит как: «Короля играет свита» (предположительно, Н. Макиавелли). Авторы дан-

ной статьи, опираясь на свой многолетний опыт работы в высшей школе, могут высказать почти аналогичное заключение: «Инженера определяют его педагоги».

В пору СССР и в начальный период существования РФ как преемника СССР корпус ППС всегда отличался профессионализмом. К сожалению, за последние 10–15 лет ситуация несколько изменилась. Старые кадры как носители знания уходят, а молодые не всегда стремятся в вузы ввиду невысокого уровня оплаты труда. А из тех, кто приходит, далеко не все являются специалистами такого же уровня, как те, которые ушли.

Авторы провели несложный анализ в социальной сети «Фейсбук». Анализировалась группа численностью около 10000 человек, в которой обсуждаются вопросы высшего образования. При этом выяснились очень странные вещи:

а) Примерно 30% состава этой группы просто не знают, что такое производительность труда, хотя даже гуманитарии это должны знать, поскольку об этом писал ещё К. Маркс [6]. При этом эти преподаватели со степенью кандидата (или даже доктора) наук рассуждают следующим образом: «Раньше нагрузка была 600 часов в год, сейчас она составляет 900 часов, значит, наша производительность выросла в полтора раза» [10].

б) Примерно 25% состава анализируемой группы не знали, что такое прибавочная стоимость. Считали, что это просто торговая надбавка.

в) Выборочный анализ их публикационной деятельности показал, что в 90% случаев доминируют статьи объёмом в 2–3 страницы. В большинстве случае эти статьи опубликованы в различных сборниках. В некоторых случаях такие статьи содержат до 35–40 позиций в списке литературных источников, т.е. содержательная часть статьи составляет не более 1.5–2 страниц.

г) В 90% случаев в этих маленьких статьях не менее трёх соавторов.

д) Много статей, которые опубликованы в платных журналах, где практически отсутствует рецензирование.

В последние годы благодаря слепому подражанию западным школам и усилию российских чиновников от образования многие преподаватели стали увлекаться наукометрией. Это различные коэффициенты публикационной деятельности — индекс Хирша и пр. А от наукометрии, как показывает практика, до наукообразия, всего один шаг. В результате преподаватели (не только в нашей стране) занимаются именно последним. Наш корпус учёных, работающих как в НИИ, так и в вузах, за последние годы стал мировым лидером в области написания статей в этой наукометрической гонке. Надо отметить, что к этому преподавателей и работников НИИ в какой-то мере принуждают сами издательства. Вот, например, требования журнала «Информационные технологии», помещенные на главной странице:

> *Статьи должны содержать анализ отечественных и зарубежных журнальных публикаций по соответствующей теме преимущественно за последние пять лет. Приветствуется библиография не менее 30 позиций, причем число ссылок на труды авторов статьи не должно превышать 20 процентов от общего числа.*

В кандидатской диссертации со средним объемом 120–150 страниц библиография обычно содержит не более 120–150 позиций, в докторской диссертации на 250–400 страниц количество библиографических ссылок обычно не превышает 350 позиций, т.е. соблюдается пропорция 1 ссылка на 10 страниц — 1/10. Но здесь мы видим пропорцию 1/3 (обычно статья содержит 10–12 страниц формата А4). Повышается ли от этого ценность статьи? Увы, не повышается. Таким образом, несмотря на огромное количество статей, качество их, мягко говоря, не улучшилось.

Так как же могут люди, которые не знают базовых определений в экономике, готовить хороших специалистов? Для нас, уважаемые читатели, это остаётся загадкой.

ПЕРЕПОДГОТОВКА И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ

Когда мы говорили об экономическом чуде Японии, мы не озвучили ещё один интересный момент.

Как известно, американская администрация после второй мировой войны, перед тем как покинуть Японию, «подарила» ей камень на шею. Генерал Д. Макартур был инициатором принятия закона о пожизненном найме (в настоящее время официально отменён). Как вы знаете, это означает, что если предприятие берёт к себе работника, то этот работник не может быть уволен, ни по инициативе администрации предприятия, ни по собственному желанию. Этот закон не был придуман самим Д. Макартуром, это не что иное, как реанимация двух законодательных актов самих японцев от 1939 г. Американцы считали, что этот закон сможет затормозить развитие японской промышленности. Это они так считали, но не японские бизнесмены, которые из лимона сделали лимонад. Они просто решили, что любого человека можно переподготовить. И они включили переподготовку и повышение квалификации как одну из базовых составляющих в процесс производства. Повышение квалификации в среднем составляло у рядового работника до 20% времени от его службы на предприятии. При этом если человек пришёл на предприятие простым рабочим, то в процессе работы он часто закачивал не только среднюю школу, но и колледжи, и даже высшие учебные заведения. Причём с отрывом от производства. Простой рабочий с годами превращался не только в начальника участка, но и в инженера и даже топ-менеджера.

В пору СССР существовало повышение квалификации, и инженеры хотя бы один раз в своей профессиональной карьере отправлялись в разные города — на предприятия, в вузы, в научные лаборатории. Опрос производственников показал, что в настоящее время это не практикуется. Особенно в частных структурах.

Зато в последние 20–25 лет на рынке образовательных услуг как во всём мире, так и в РФ появилось достаточно много различных фирм, предлагающих курсы повышения квалификации. Иногда, и даже часто, среди них встречаются очень странные. Например, лет 15 тому назад было повальное увлечение так называемой теорией ограничений — TOC (Theory of constraints), разработанной в 80-е гг. израильским инженером Э. Голдраттом. Причём эта «теория», основы которой изложены в жанре беллетристики, базируется на двух китах — методе критического пути [7] и безграмотном его понимании. Ещё при жизни автора этой «теории» вышла серьёзная разгромная критика от специалиста в области управления проектами [8], [10].

В пору СССР также встречалось нечто подобное. Достаточно вспомнить ТРИЗ [9]. Одному из авторов статьи удалось в течение двух недель по пять часов в день слу-

шать курс этой «теории» от её автора. Незабываемые впечатления. В известном словаре-справочнике по системному анализу [11] данная «теория» квалифицируется как эмпирический метод, «который не гарантирует получения хотя бы одного решения, не говоря уже о выборе эффективного».

Даже в психологии есть свои лидеры в данной области, например, С. Гроф, который предложил базовые перинатальные матрицы — когда сознание определяется на уровне эмбриона, а также метод холотропного дыхания, вызывающий галлюцинации и возможность более полного осознания мира. Причём этот метод, приводящий к удушью и отмиранию клеток головного мозга, был предложен им тогда, когда ему отказали в доступе к наркотику ЛСД, который он практиковал на себе и пациентах с целью единства с космосом и получения информации о прошлых жизнях. Думаю, что читателю этого достаточно, чтобы понять специфический дух новаторства.

И вот такого рода курсы предлагаются тем, кто хочет повысить свою квалификацию. Что можно сказать по этому поводу? В своё время известный польский писатель-сатирик, автор афоризмов С. Е. Лец сказал: «У каждого века есть свое средневековье».

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате анализа были выявлены основные проблемы подготовки инженерных кадров в настоящее время. Это не только низкая производительность труда и весьма невысокая величина номинального значения ВВП, но также необходимость в таком регулировании социумом, которое бы не приводило к эффекту последействия, а также уровень подготовки преподавательского состава вузов и сложности в плане профессионального повышения квалификации.

Равиль Рустэм-бекович Загидуллин, д.т.н., профессор, УГАТУ (г. Уфа)
Евгений Борисович Фролов, д.т.н., профессор МГТУ «СТАНКИН» (г. Москва)

Литература

1. Ульянов Н. Взять своё // Эксперт. 2018. № 6 (1062). https://expert.ru/expert/2018/06/vzyat-svoe/
2. Цветов В. Я. Пятнадцатый камень сада Рёандзи. М.: Издательство политической литературы, 1991. 414 с.
3. Линь Ифу. Демистификация китайской экономики. М.: Шанс, 2017. 455 с.
4. Китайская классическая поэзия. Спб.: Северо-Запад-Пресс, 2003. 584 с.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология.— 2-е изд., стер. М.: Наука, 1988. 208 с.
6. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 23. С. 55. М.: Издательство политической литературы, 1960. 907 с.
7. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей. Пер.с англ.— М.: Мир, 1984. 496 с.
8. Трич Дан. Почему метод критического пути под любым другим названием не становится лучше? К созданию целостного подхода к PERT/CPM // Управление проектами и программами. 2006. № 01(05). С. 4–22.
9. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в ТРИЗ — теорию решения изобретательских задач. 5-е изд.— М.: Альпина Паблишер, 2012. 440 с.
10. Загидуллин Р. Р., Фролов Е. Б. Проблема подготовки кадров для машиностроения // Генеральный директор. Управление промышленным предприятием. 2021. № 9. С. 62–71.
11. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник / под. ред. В. Н. Волковой. М.: Высш. школа, 2004. 614 с.

23–27 | 05 | 2022

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

МЕТАЛЛООБРАБОТКА • METALLOOBRABOTKA

22-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»

СФ СОВЕТ ФЕДЕРАЦИИ Федерального Собрания Российской Федерации

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИИ

ТПП РФ

ufi Approved International Event

РОССИЙСКИЙ СОЮЗ ВЫСТАВОК И ЯРМАРОК

www.metobr-expo.ru

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР

15–21 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО

2022

ARMY

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

ОРГАНИЗАТОР

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ

WWW.RUSARMYEXPO.RU