

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СОВРЕМЕННЫХ СТАНКАХ С ЧПУ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИ СМЕННЫХ МОДУЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

© 2016

*П.А. Огин*, аспирант

*Д.Г. Левашкин*, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства»  
*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**Ключевые слова:** энергоэффективные технологии; оптоволоконный лазер; автоматически сменный модуль; станок с ЧПУ.

**Аннотация:** Статья посвящена решению комплексной проблемы, охватывающей необходимость разработки технических решений, направленных на поиск экономически выгодных путей интеграции энергоэффективных технологий в современное производство и решения вопросов автоматизации энергоэффективных технологий в условиях многономенклатурного производства изделий машиностроения. На основе анализа ряда технико-экономических факторов, сдерживающих развитие и внедрение энергоэффективных технологий сегодня, – показано, что для условий современного производства актуальны разработки комплексных технических решений в области автоматизации энергоэффективных технологий, проработка новых технических эффектов, характерных для применения энергоэффективных технологий в действительных рыночных условиях.

В качестве одного из направлений решения комплексной проблемы в статье предлагается подход на основе внедрения автоматически сменных станочных модулей как в существующие производственные циклы, так и во вновь организуемые производства. Приведена конструкция устройства для реализации энергоэффективных лазерных технологий в рабочей зоне современного автоматизированного станочного оборудования. Представлено описание и концепция предлагаемого устройства, а также вариант его технического исполнения. Для решения вопросов автоматизации разработан алгоритм, позволяющий организовать функционирование устройства от штатной системы управления оборудованием при реализации энергоэффективных технологий лазерной обработки в рабочей зоне современного станка с ЧПУ. В основе конструкции модуля предложено использовать элементы стандартной и унифицированной оснастки современного станочного оборудования, а также элементы современного оптоволоконного лазера. Применительно к предложенной конструкции модуля приведены накладываемые технические ограничения его применения в зависимости от вариантов компоновки станка-носителя, а также рекомендации по организации циклов автоматизированной лазерной обработки с применением модуля. По результатам представленного исследования сформулированы ожидаемые эффекты использования модуля предлагаемой конструкции в комплексном подходе к решению вопросов автоматизации энергоэффективных технологий лазерной обработки, основные из которых – кратное снижение себестоимости продукции за счет сокращения затрат на оборудование и высокая производительность обработки деталей за счет сокращения потерь времени на подготовку производства.

### ВВЕДЕНИЕ

В современных производственных условиях реализация энергоэффективных технологий характеризуется наличием трех основных технико-экономических составляющих. В первую очередь, экономическая составляющая – фактор низкой цены – зачастую определяет конечный выбор потребителя в пользу того или иного технического решения. Во-вторых, уровень развития элементной базы лазеров, а именно систем доставки луча в зону обработки и источников лазерного излучения упрощает интеграцию лазерной системы непосредственно в производственные циклы. В-третьих – это развитие информационного обеспечения производства, а именно возможность применения единой информационной компонентной базы как для реализации управления процессами механической (лезвийной) обработки, так и для управления энергоэффективными технологиями, в том числе доставки луча лазера в зону обработки.

Значимость перечисленных составляющих характеризуется тем, что они в совокупности определяют необходимость разработки комплексного подхода в выборе систем производственного обеспечения для реали-

зации процессов механической (лезвийной) обработки и энергоэффективных технологий, в том числе доставки луча лазера в зону обработки на этапе формирования высокотехнологичного производства.

Современные системы производственного обеспечения механической обработки и системы обеспечения энергоэффективных технологий развиваются обособленно. Это существенно снижает темпы интеграции производственных систем энергоэффективных технологий в современное производство. Однако это противоречит направлению развития современного машиностроения, где наблюдается рост объемов применения энергоэффективных технологий в промышленности [1–6].

Также развитие указанных производственных систем происходит из единой компонентной базы (приводные системы, инструментальные системы, системы технологического оснащения), что вынуждает потребителя приобретать дублирующиеся элементы при реализации комплексных технологических процессов механической (лезвийной) и энергоэффективной обработки. Поэтому в настоящее время на рынке производственных систем сложилась критическая ситуация, когда, с одной стороны, потребитель заинтересован в приобретении

высокоэффективных энергоэффективных технологий и оборудования, а с другой – производитель промышленного оборудования не готов идти на сокращение элементной базы поставляемого на рынок высокоэффективного оборудования, не готов идти на сокращение прибыли и рост затрат на инжиниринг.

Обладея большим научно-промышленным потенциалом в области фотоники, Россия, к сожалению, существенно уступает развитым странам по масштабам практического ее использования, что наносит стране заметный экономический ущерб и замедляет ее модернизацию. В 2011 году была принята Стратегическая программа на 2015–2020 годы технологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – Фотоника» [7]. Стратегическая программа составлена в соответствии с методическими рекомендациями Межведомственной комиссии по технологическому развитию президиума Совета при президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 30 октября 2014 г. (протокол № 36-Д19). Согласно стратегической программе, до 2017 года необходимо выполнить наиболее неотложные и дающие немедленный эффект инфраструктурные и технические проекты, нацеленные на обеспечение страны современной элементной базой фотоники, повышение инновационной активности, гибкости и конкурентоспособности отечественной обрабатывающей промышленности в результате широкого использования лазерно-оптического и оптоэлектронного оборудования, на массовое освоение фотоники в отечественном здравоохранении, сельском хозяйстве, системах связи, на транспорте и в других отраслях с существенным повышением их технических и экономических возможностей, производительности труда, экономической безопасности.

Поэтому разработки в области лазерных технологий, направленные на решение таких комплексных проблем, как сокращение издержек производства при применении лазерных технологий и повышении эффективности их применения, крайне актуальны.

Развитие систем доставки лазерного луча в зону обработки, в том числе применение для этих целей оптического волокна, позволяют производить передачу лазерного излучения на расстояние до 300 м без потери мощности. Применение роботизированных комплексов позволяет производить обработку по 5-ти и более осям. В целом, применение лазеров для решения задач сварки, резки, термоупрочнения, наплавки показало свою эффективность [8–15].

Однако эффективность применения того или иного вида лазерной обработки зачастую бывает ограничена высокой стоимостью ее реализации. В условиях массового производства применение лазерных технологий, например лазерной сварки кузовов в автомобилестроении, экономически обоснованно ввиду высокой степени автоматизации процесса, высокого качества и низкой себестоимости операции. Однако в условиях серийного и единичного типов производства в большинстве случаев применение лазерных технологий существенно повышает итоговую стоимость детали, поэтому их применение ограничено.

Анализ факторов ценообразования при применении той или иной лазерной технологии позволил выявить

ключевые компоненты, определяющие себестоимость применения этих технологий в производстве. Это и определяет ограничение на выбор и применение лазерных технологий.

В настоящее время стоимость лазерных технологий определяется в основном стоимостью лазерного оборудования и технологической оснастки к нему. Стоимость отдельного лазерного комплекса складывается из стоимости трех основных компонент: 1) источника излучения лазера; 2) системы приводов; 3) технологической оснастки.

При этом система приводов аналогична тем, что используются для малогабаритных маложестких станков, используемых при обработке цветных металлов, различных полимеров и деталей из древесины. Используемая технологическая оснастка аналогична применяемой на станках фрезерной, расточной, сверлильной групп. Происходит дублирование дорогостоящих элементов для обеспечения возможности реализации лазерных технологий и, соответственно, их значительное удорожание. В этой связи интеграция лазерного источника в действующую инструментальную систему станка позволит исключить дублирующие элементы системы при возможности реализации лазерных технологий непосредственно в рабочей зоне станка с ЧПУ, кратко сократить издержки заказчика при внедрении энергоэффективных технологий [16; 17]. Однако отсутствие соответствующей компонентной базы для решения вопросов интеграции энергоэффективных устройств в современные станочные комплексы, в том числе доставки луча лазера в зону обработки, является сдерживающим фактором современного производства.

В этой связи целью работы явилась разработка конструкции автоматического сменного модуля (далее по тексту – модуль) для реализации лазерных технологий на станках с ЧПУ фрезерной и расточной групп и кратного снижения стоимости лазерной обработки.

#### РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЯ

Анализ технических решений, направленных на интеграцию высокоэнергетических технологий в современные станочные комплексы, выявил основные преимущества и недостатки существующего подхода при решении данной проблемы.

В настоящее время интеграция технологий высокоэффективных высокоэнергетических технологий в существующие станочные комплексы происходит по принципу установки дополнительной (или основной) головки на базе шпиндельного узла станка [18; 19]. При этом происходит совершенствование технологических приемов применения лазерных технологий, в том числе развитие аддитивных технологий. Однако при этом не происходит снижения себестоимости лазерной обработки. В этой связи дальнейшее применение такого оборудования будет ограничено.

При этом положительным моментом можно считать развитие и апробацию систем доставки луча лазера, в частности по оптическому волокну, в зону обработки без каких-либо существенных технических ограничений. Также положительным является факт применения единой информационной составляющей при реализации указанных технологий на станочных комплексах с ЧПУ. Эти моменты были учтены при разработке конструкции предлагаемого модуля.

При разработке конструкции модуля был проведен анализ наиболее востребованных типов инструментальных систем станков с ЧПУ [20; 21].

К механизмам автоматической смены инструмента предъявляются требования обеспечения стабильного, точного, жесткого и надежного положения инструмента, а также минимальное время для его замены. По конструктивному и компоновочному исполнению все механизмы делят на три группы: 1) с заменой всего шпиндельного устройства (револьверные шпиндельные головки, магазины шпиндельных гильз); 2) со сменой инструмента в одном шпинделе (инструментальные магазины); 3) комбинированные (магазин в сочетании с револьверной головкой или автоматическая и ручная смена).

Наибольшую распространенность получили многоцелевые станки со сменой инструмента в одном шпинделе. Механизм смены инструмента в этом случае в общем виде состоит из инструментального магазина, автооператора для переноса инструментов от магазина в шпиндель и обратно и транспортного устройства для передачи инструмента из магазина к автооператору для его закрепления.

Магазины могут быть установлены на шпиндельной головке, на колонне, на столе и за пределами станка. При расположении магазина на столе станка уменьшается полезная площадь стола, увеличиваются затраты времени на смену инструмента, поэтому такой способ установки магазина не получил распространения.

Магазины выполняют дисковыми (см. поз. 2 на рис. 1 а, 1 б), барабанными (см. позицию 2 на рис. 1 в), цепными (см. поз. 2 на рис. 1 г), планетарными (см. поз. 2 на рис. 1 д).

Инструмент (см. поз. 1 на рис. 1) в таких магазинах может располагаться параллельно, радиально или наклонно к оси вращения магазина.

Анализ кинематики различных (рассматриваемых) схем инструментальных магазинов выявил ограничения для системы доставки луча лазера модуля. Так, ввиду необходимости выполнения постоянного радиуса сгиба для оптического волокна не менее 1,2 м, для станков с инструментальными магазинами барабанного, цепного

го, планетарного типа невозможно использование модуля наряду со стандартным инструментом без существенной модернизации конструкции станка. При этом происходит существенное удорожание себестоимости реализации технологий лазерной обработки.

При использовании на станке с ЧПУ инструментального магазина дискового типа ограничение радиуса сгиба выполняется. При этом не требуется модернизация конструкции станка. Модуль может быть установлен в стандартной ячейке инструментального магазина станка.

Для возможности максимальной унификации разрабатываемого модуля с существующими системами инструментального обеспечения станков и решения вопросов автоматизации смены в шпинделе станка с ЧПУ корпус модуля оснащен зажимным элементом, выполненным сменным, например, в виде типового инструментального конуса станка.

В общем виде модуль (см. рис. 2) состоит из источника лазерного излучения (условно не показан), системы доставки лазерного излучения 1, оптической системы 2, а также зажимного элемента 3.

В качестве источника лазерного излучения для модуля могут быть использованы различные лазеры, в том числе импульсные, непрерывные, квазинепрерывные. Выбор источника лазерного излучения определяется производственными потребностями, а также из экономических соображений. В частности, при разработке конструкции модуля в качестве источника был использован иттербиевый квазинепрерывный лазер ЛК-150/1500-QCW-АС. В данном случае требовалось комплексное решение при реализации лазерной маркировки, лазерной термической обработки, а также лазерной наплавки. Выбор источника лазерного излучения определяет конструкцию и элементы оптической системы.

#### ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ МОДУЛЯ

Для решения вопросов информационного обеспечения и управления работой модуля на станке с ЧПУ организуют последовательные циклы функционирования. По команде управляющей программы шпиндель станка

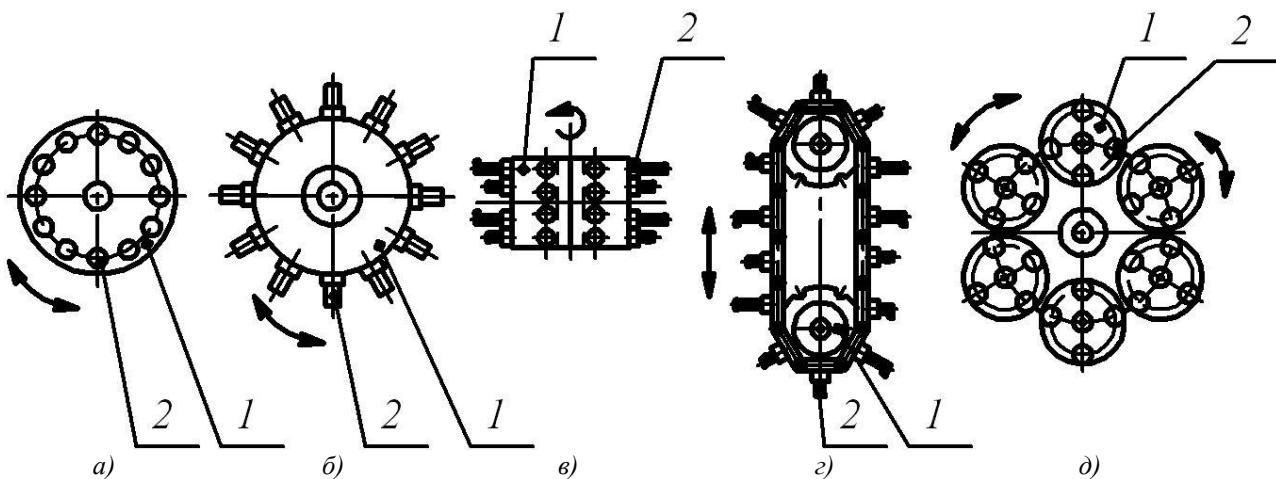


Рис. 1. Схемы инструментальных магазинов (буквами обозначен тип исполнения магазина): а, б – дисковый; в – барабанный; г – цепной; д – планетарный

перемещается в точку смены инструмента, которая находится в непосредственной близости к магазину инструментов станка. Далее магазин инструментов поворачивается так, чтобы устройство, предварительно размещенное в гнезде магазина, находилось напротив шпинделя. Двухпозиционный механический захват, находящийся между магазином и шпинделем, захватывает отработавший инструмент в шпинделе и устройство в гнезде инструментального магазина за направляющий фланец. Захват опускается вниз, освобождает отработавший инструмент и меняет их местами с устройством, совершая поворот на 180 градусов. Затем захват поднимается вверх, при этом зажимной элемент конусной частью ориентируется и зажимается в ответной части шпинделя, а отработавший инструмент размещается в гнезде инструментального магазина. Далее захват опускается вниз – освобождая устройство и инструмент. Шпиндель перемещается в исходную точку. Осуществляется последующее подключение устройства и лазерная обработка согласно управляющей программе. Дальнейшая смена устройства осуществляется в обратном порядке.

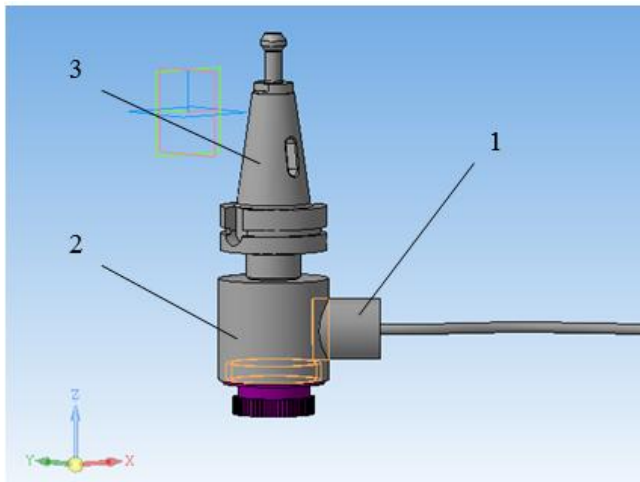


Рис. 2. 3-D модель разработанного модуля

Для представления структуры комбинированной механической (лезвийной) и лазерной обработки рассмотрим последовательность обработки корпусной детали с последующей лазерной маркировкой. В общем виде последовательность работы будет выглядеть следующим образом.

1. Составление в системах САМ (Computer Aided Manufacturing) программы обработки для реализации механической (лезвийной) обработки и получения требуемого контура детали.
2. Составление в системах САМ (Computer Aided Manufacturing) программы для лазерной маркировки детали. При этом составление программы обработки происходит в той же САМ системе, что и для механической (лезвийной) обработки.
3. Установка и закрепление в технологической оснастке заготовки детали.
4. Установка в инструментальную систему требуемого для обработки контура детали и ее маркировки инструмента и лазерного модуля.

5. Включение программы для механической обработки. Механическая (лезвийная) обработка заготовки и получение необходимого контура детали.

6. Автоматическая смена инструмента на лазерный модуль по указанному выше циклу.

7. Очистка поверхности под маркировку от остатков СОТС (при необходимости).

8. Включение модуля. Лазерная маркировка детали.

9. Удаление готовой детали из зоны обработки станка.

10. Механическая доработка (снятие заусенцев) детали (при необходимости).

Включение и выключение непосредственно источника лазерного излучения осуществляется по команде ЧПУ станка, согласно рабочей программе обработки для лазерной маркировки детали. При этом используются свободные коды системы ЧПУ станка.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Представленная конструкция автоматически сменного модуля позволяет реализовать комплекс лазерных технологий на станках с ЧПУ фрезерной и расточной групп, а также способствует кратному снижению себестоимости лазерной обработки.

При этом суммарный технико-экономический эффект от использования предлагаемого модуля позволяет решить критическое противоречие, имеющее место на рынке интересов потребителей и производителей промышленного технологического оборудования и оборудования для энергоэффективных технологий, в том числе за счет:

- отсутствия необходимости приобретения отдельной позиции лазерного центра для реализации задач лазерной обработки предприятием (наплавка, сварка, резка, маркировка, термическое упрочнение деталей);
- сокращения затрат, связанных с содержанием обслуживающего персонала;
- сокращения производственных площадей;
- сокращения времени на обработку детали (исключается необходимость переустановки детали, настройки лазерного центра на обработку детали, разработки программного обеспечения);
- кратчайших сроков окупаемости проекта.

Развитие конструкции модуля, а также технико-экономическое сравнение различных технологий с его применением является предметом дальнейших исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатов А. Десять лет успеха: рынок фотоники и лазерных технологий (2004 – 2015 годы) // Фотоника. 2015. № 3. С. 10–26.
2. Райкис О. Диодные лазеры для лазерного плакирования: StatusQuo – QuoVadis // Фотоника. 2015. № 3. С. 48–55.
3. Казакевич В.С., Ярьско С.И. Тенденции развития рынка лазерных технологий для решения задач лазерной обработки материалов. Часть 1. мировой лазерный рынок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4. С. 266–275.
4. Афримович В.Б., Казакевич В.С., Ярьско С.И. Тенденции развития рынка лазерных технологий для решения задач лазерной обработки материалов.

- Часть 2. Рынок лазерных технологий в России и Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4-1. С. 276–286.
5. Сапрыкин Д.Л. Лазерные технологии для модернизации // Технология машиностроения. 2011. № 11. С. 73–80.
  6. Дежина И.Г. Новые производственные технологии: публичный аналитический доклад по направлению. Сколково: Сколковский Институт Науки и Технологий, 2015. 210 с.
  7. Ковш И.Б. Инновационные лазерные, оптические оптоэлектронные технологии – Фотоника: стратегическая программа на 2015–2020. М.: Фотоника, 2015. 59 с.
  8. Григорьянц А.Г., Щиганов И.Н., Мисюров А.И. Технические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 664 с.
  9. Малышев В.И., Бойченко О.В., Огин П.А. Модификация поверхности сталей и чугунов при помощи оптоволоконного лазера // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 7. № 4. С. 56–61.
  10. Скрипченко А.И. Тестирование процесса закалки сталей излучением волоконных лазеров // РИТМ. 2007. № 5. С. 52–53.
  11. Попов В. Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и CO<sub>2</sub>-лазеров // Фотоника. 2009. № 4. С. 18–21.
  12. Сомонов В.В., Цибульский И.А. Эффективность использования волоконных лазеров для лазерной закалки изделий в промышленности // Металлообработка. 2014. № 1. С. 9–12.
  13. Майоров В.С. Лазерное упрочнение металлов // Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. С. 439–469.
  14. Огин П.А., Мерсон Д.Л., Кондрашина Л.А., Васькин К.Я. Влияние режимов лазерной модификации на структуру, свойства и износостойкость мелкоразмерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 4. С. 83–88.
  15. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
  16. Огин П.А., Левашкин Д.Г. Концепция «носитель – оптоволоконный лазер» как единый комплекс для автоматизации технологических процессов // IV Резниковские чтения: труды междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. Тольятти: ТГУ, 2015. С. 362–365.
  17. Малышев В.И., Левашкин Д.Г., Селиванов А.С. Автоматизация гибридных и комбинированных технологий на основе модернизации станочного оборудования и выбора кинематических связей // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2010. № 3. С. 70–74.
  18. Жаринов В.Н., Жаринов В.В. Станок многоцелевой с числовым программным управлением, лазерной оптической головкой и автоматической сменой инструмента: патент РФ на изобретение № 2443534 от 24.02.2010.
  19. DMG-Mori. Линейка станков LASERTEC для реализации высокоэнергетических технологий // Станки, инструменты, измерительная техника. 2016. № 3. С. 66–68.
  20. Гуртяков А.М., Мойзес Б.Б. Металлорежущие станки. Типовые механизмы и системы металлорежущих станков. Томск: Томский политехнический университет, 2009. 112 с.
  21. Украженко К.А. Методика оценки и выбора типа инструментальной системы для многоцелевых станков // Вестник Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2003. № 4. С. 96–105.

#### REFERENCES

1. Ignatov A. Ten Years of Success: Photonics Market and Laser Technologies (2004–2015). *Fotonika*, 2015, no. 3, pp. 10–25.
2. Raykis O. Diode lasers for laser cladding: Status Quo – QuoVadis. *Fotonika*, 2015, no. 3, pp. 48–55.
3. Kazakevich V.S., Yaresko S.I. Tendencies of development of the market of laser technologies for the solution of problems of laser processing of materials. Part 1. The world laser market. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 266–275.
4. Afrimovich V.B., Kazakevich V.S., Yaresko S.I. Tendencies of development of the market of laser technologies for the solution of problems of laser processing of materials. Part 2. The market of laser technologies in Russia and the Samara region. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 4-1, pp. 276–286.
5. Saprykin D.L. Laser technologies for modernization. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2011, no. 11, pp. 73–80.
6. Dezhina I.G. *Novye proizvodstvennye tekhnologii: publichnyy analiticheskiy doklad po napravleniyu* [New manufacturing technologies: public analytical report by area of activity]. Skolkovo, Skolkovskiy Institut Nauki i Tekhnologiy Publ., 2015. 210 p.
7. Kovsh I.B. *Innovatsionnye lazernye, opticheskie optoelektronnye tekhnologii – Fotonika: strategicheskaya programma na 2015–2020* [Innovative laser, optical optoelectronic technologies – Photonika: strategic program for 2015–2020]. Moscow, Fotonika Publ., 2015. 59 p.
8. Grigoryants A.G., Shchiganov I.N., Misyurov A.I. *Tekhnicheskie protsessy lazernoy obrabotki* [Technical processes of laser treatment]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2006. 664 p.
9. Malyshev V.I., Boychenko O.V., Ogin P.A. Steel and iron surface modification using the feber optic laser. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld*, 2014, vol. 7, no. 4, pp. 56–61.
10. Skripchenko A.I. Testing of the process of steel hardening by fiber lasering. *RITM*, 2007, no. 5, pp. 52–53.
11. Popov V. Laser Hardening Steels. Comparison of Fiber and CO<sub>2</sub> Lasers. *Fotonika*, 2009, no. 4, pp. 18–21.
12. Somonov V.V., Tsibulskiy I.A. The efficiency of the use of fiber lasers for laser hardening products in the industry. *Metalloobrabotka*, 2014, no. 1, pp. 9–12.
13. Mayorov V.S. Laser hardening of metals. *Lazernye tekhnologii obrabotki materialov: sovremennye problemy fundamentalnykh issledovaniy i prikladnykh razrabotok*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009, pp. 439–469.

14. Ogin P.A., Merson D.L., Kondrashina L.A., Vaskin K.Ya. The influence of laser modification modes on the structure, properties and wear resistance of small-sized tool made of high-speed R6M5 steel. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 83–88.
15. Grigoryants A.G. *Osnovy lazernoy obrabotki materialov* [Fundamentals of laser working of metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 304 p.
16. Ogin P.A., Levashkin D.G. “Carrier-fiber optic laser” conception as a single complex for technological processes automation. *Trudy mezhdunar. nauch.-tekhn. konferentsii “IV Reznikovskie chteniya”*. Togliatti, TGU Publ., 2015, part 1, pp. 362–365.
17. Malyshev V.I., Levashkin D.G., Selivanov A.S. Hybrid and combined technologies automation are based on cnc-machine tool equipment modernization and kinematical connections choice. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 3, pp. 70–74.
18. Zharinov V.N., Zharinov V.V. *Stanok mnogotselovoy s chislovym programmym upravleniem, lazernoy opticheskoy golovkoy i avtomaticheskoy smenoy instrumenta* [Multipurpose numerically controlled machine with laser optical head and automatic tool changing]. Patent RF, no. 2443534, 2010.
19. DMG-Mori. The range of LASERTEC machines for high-energy technologies implementation. *Stanki, instrumenty, izmeritelnaya tekhnika*, 2016, no. 3, pp. 66–68.
20. Gurtyakov A.M., Moyzes B.B. *Metallorazhushchie stanki. Tipovye mekhanizmy i sistemy metallorazhushchikh stankov* [Metal cutting machines. Standard mechanisms and systems of metal cutting machines]. Tomsk, Tomskiy politekhnicheskii universitet Publ., 2009. 112 p.
21. Ukrazhenko K.A. Methodology for evaluation and selection of type of tool system for multipurpose machines. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya: Mashinostroenie*, 2003, no. 4, pp. 96–105.

**THE IMPLEMENTATION OF ENERGY EFFICIENCY TECHNOLOGIES  
ON THE MODERN CNC MACHINES BY USING THE AUTOMATICALLY REPLACEABLE MODULES  
ON THE EXAMPLE OF LASER PROCESSING**

© 2016

*P.A. Ogin*, postgraduate student  
*D.G. Levashkin*, PhD (Engineering),  
assistant professor of Chair “Equipment and technologies of engineering production”  
*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* energy efficiency technologies; fiber optic laser; automatically replaceable module; CNC machine.

*Abstract:* The paper covers the solution of the complex issue involving the necessity of development of technical solutions oriented to the search of economically advantageous ways of integration of energy efficiency technologies to the modern production and the solution of the issues of the energy efficiency technologies automation in the conditions of multiproduct manufacture of the engineering goods. On the analysis of the number of technical and economic factors hindering the development and implementation of the energy efficiency technologies, the authors determined that, for the conditions of modern production, the developments of complex technical solutions in the sphere of the energy efficiency technologies automation, the elaboration of new technical effects typical for the application of energy efficiency technologies in the current market conditions are important today. The authors suggest using the approach based on the introduction of automatically replaceable modules both to the existing manufacturing cycles and to the newly organized manufactures as one of the directions of complex issue solution. The design of the device for implementation of energy efficiency laser technologies within the operating area of the modern automated machining equipment is introduced. The authors present the description and the concept of suggested device and the variant of its technical performance. To solve the automation issues, the algorithm is developed that allows organizing the device functioning using the regular system of the equipment control while implementing the energy efficiency technologies for laser processing within the operating area of modern CNC machine. It is offered to use in the module design the elements of standard and universal tool set of modern machining equipment and the elements of the modern fiber optic laser. In respect to the suggested module design, the imposed technical constraints for its application depending on the variants of the machine-carrier linking and the recommendation on the organization of cycles of automated laser processing using the module are introduced. According to the results of the study, the authors formulated the expected effects of the suggested module design application in the complex approach to the solution of issues of the automation of energy efficiency technologies for laser processing, the main of which are the multiple reduction of production cost due to the reduction of cost for the equipment and high capacity of the parts processing due to the loss reduction of time for the preproduction.