

## ОПЫТ ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. М. МЕДУНЕЦКИЙ, С. В. СОЛК, О. А. ЛЕБЕДЕВ

<sup>1</sup> Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: vm57med@yandex.ru

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения,  
188540, Ленинградская обл., г. Сосновый Бор, Россия

Отмечено возрастание роли единичного и мелкосерийного производства промышленных изделий в современной мировой экономике. Рассмотрен ряд технических решений, позволяющих сократить время выпуска и затраты ресурсов при изготовлении опытных образцов оптико-механических систем и их мелкосерийном производстве. Показана эффективность применения технологии алмазного микроточения при изготовлении опытных образцов оптико-механических систем. Приведены примеры спроектированных и изготовленных объектов.

**Ключевые слова:** единичное и мелкосерийное производство, оптико-механическая система, объектив, оптическое стекло, алмазное микроточение

В последние 10—15 лет в мировом производстве промышленной продукции, прежде всего наукоемкой и высокотехнологичной, наблюдается тенденция к изготовлению изделий в рамках единичного и мелкосерийного производства. Это связано с тем, что промышленная продукция постоянно усложняется, увеличивается ее номенклатура, а время жизненного цикла, наоборот, сокращается. Возросшая конкуренция заставляет производителей повышать показатели качества продукции, снижать затраты на ее производство. В работе [1] рассмотрена возрастающая роль НИОКР в промышленно развитых странах. Так, в 2007 году 2000 крупнейших мировых компаний инвестировали в НИОКР 372 млрд евро.

Результатом НИОКР является изготовление опытного образца либо небольшой серии для проверки правильности технических решений, принятых при проектировании. Это позволяет выяснить, удовлетворяет ли образец предъявляемым требованиям, выявить и устранить дефекты и принять решение о целесообразности серийного производства.

Причины возрастания объемов мелкосерийного производства следует рассмотреть на примере изготовления оптико-механических систем (ОМС). У предприятий-производителей ОМС наметились два подхода:

1) производство изделий с универсальными характеристиками, что позволяет применить технологии серийного производства и значительно удешевить продукцию, но это не позволяет максимально удовлетворить требования потребителей;

2) расчет, проектирование, изготовление опытного образца, проведение всесторонних испытаний по техническому заданию конкретного потребителя. Именно такой, более затратный как в финансовом, так и во временном плане, подход позволяет учесть свойства используемого фотоприемного устройства (ФПУ), в частности, спектральную чувствительность и наличие в ФПУ оптических элементов, защитных и покровных пластин, их геометрические характеристики, расположение и показатели преломления. В случае применения охлаждаемых ФПУ (в варианте инфракрасных ОМС) необходимо учитывать положение охлаждаемых диафрагм. Такой подход позволяет оптимизировать вес и габариты объектива в соответствии с требованиями потребителя и добиться наилучших оптических характеристик.

Затраты на изготовление опытного образца изделия могут существенно превышать стоимость и время изготовления образца серийного. Их снижение, особенно в условиях жесткой конкуренции, является важной задачей.

На рис. 1 и 2 приведены оптические схемы двух объективов с одинаковым числом оптических элементов и одинаковыми оптическими характеристиками. Рабочий спектральный диапазон 0,4—0,8 мкм, фокусное расстояние 300 мм, полное поле зрения 3,5°, относительное отверстие 1:2, диаметр пятна рассеяния по всему полю для 80 % энергии не превышает 0,012 мм. Масса объективов тоже примерно одинакова. В первом варианте (рис. 1) масса оптических элементов (ОЭ) больше, но это компенсируется меньшей длиной объектива. В то же время существенным преимуществом этого варианта является то, что все ОЭ изготавливаются из широко распространенного оптического стекла К8. Во втором варианте (рис. 2) использованы пять различных оптических материалов (отсутствие необходимых заготовок на складе может привести к значительным временным затратам).

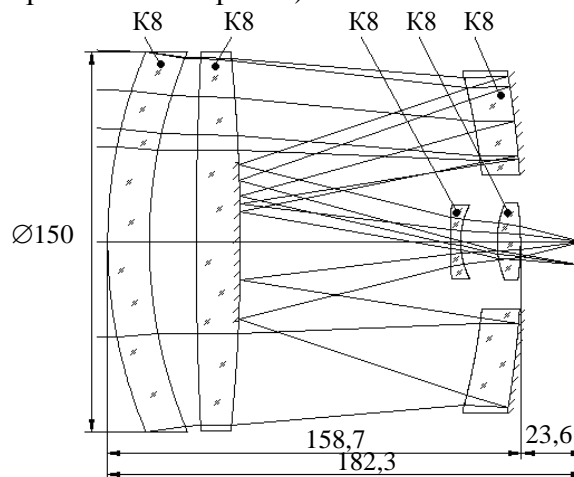


Рис. 1

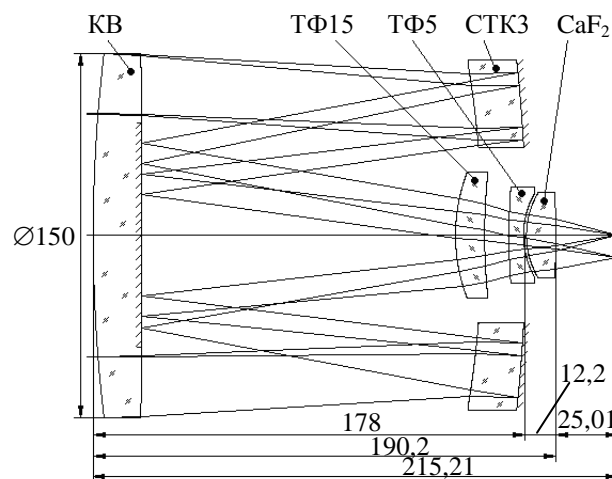


Рис. 2

Объединение на предприятии проектировщиков и технологов позволяет последним участвовать в разработке конструкции уже на стадии оптического расчета, а не тогда, когда конструкция разработана и внесение в нее существенных изменений практически невозможно. Следует отметить, что при такой организации работы расчет ОМС ведется с учетом имеющихся в наличии материалов (в данном случае — пробных стекол), что уменьшает как финансовые, так и временные затраты.

Важность снижения временных затрат и использования для этого информационных технологий, в частности параллельного проектирования, а также возникающие при этом

проблемы рассматриваются в работе [2]. При проектировании и изготовлении опытных образцов ОМС для дополнительного сокращения временных затрат, на наш взгляд, целесообразно использовать следующую схему построения технологического процесса. На стадии выполнения оптического расчета определяется число ОЭ, их габариты и материалы, из которых ОЭ должны быть изготовлены. После этого, пока окончательный расчет не завершен, заказываются необходимые заготовки с припусками, допускающими некоторое изменение габаритов ОЭ. Это связано с тем, что в современных ОМС используются такие материалы, как монокристаллические германий и кремний, инфракрасные стекла, специальные сорта бронзы и инвара (используются и другие материалы, изготовление которых ведется только под конкретный заказ и занимает длительное время). После получения заготовок осуществляется их контроль, определяются фактические показатели преломления для рабочих длин волн. Затем следуют „пересчет на плавки“, корректировка чертежей ОЭ и лишь после этого начинается их изготовление.

После начала разработки конструкторской документации, когда становятся понятны габариты механических деталей и материалы, из которых они должны быть изготовлены, заказываются заготовки, характеризующиеся длительным сроком поставки. Оптимален вариант, когда к окончанию разработки конструкторской документации закуплены и проконтролированы все необходимые заготовки как ОЭ, так и механических деталей.

Существенное сокращение времени может дать информация о фактической нагрузке оптического, механического и сборочного производства к моменту начала изготовления опытного образца. Обладая такой информацией, можно путем упрощения или усложнения конструкции деталей, перегруппировки допусков оптимизировать процесс изготовления и сократить временные затраты. Например, при наличии высококвалифицированных сборщиков и менее квалифицированных оптиков и механиков целесообразно расширить допуски на оптические и механические детали, а требуемых точностных показателей добиваться при сборке изделия. При обратной ситуации целесообразно ужесточить допуски, усложнить конструкцию деталей с целью упрощения сборочных операций.

В работе [3] показаны возможности использования в единичном и мелкосерийном производстве технологии алмазного микрооточения (АМТ). Например, при изготовлении ОЭ из полимерных материалов АМТ позволяет либо провести непосредственно формообразование рабочих поверхностей, либо изготовить рабочие поверхности пресс-форм (ПФ) для прессования нескольких образцов ОЭ. Такой подход позволяет отказаться от изготовления ПФ традиционной конструкции — дорогостоящих и имеющих длительный цикл изготовления. Также АМТ может использоваться в изготовлении ОЭ при разработке новых оптических систем для проверки теоретических расчетов. В этом случае ОЭ изготавливают методом АМТ, даже если в дальнейшем они будут производиться по другой технологии из иных материалов.

Особое место среди ОМС занимают крупногабаритные (с апертурой более 500 мм) системы. Высокая стоимость и длительный срок их изготовления при тенденции к сокращению сроков НИОКР может вызвать серьезные проблемы. Поэтому большой интерес вызывают крупногабаритные системы с универсальными характеристиками, работающие, в первую очередь, в широком спектральном диапазоне и способные решать разнообразный круг задач. В работе [4] рассмотрен объектив с апертурой 600 мм, относительным отверстием 1:3 и полем зрения  $1^\circ$ , предназначенный для работы в спектральном диапазоне 0,4—10 мкм.

Следует отметить, что в условиях единичного и мелкосерийного производства затруднен контроль показателей качества продукции. В работе [5] отмечается, что вследствие складывающейся долгие годы производственной психологии среди изготовителей продукции (изделий) в России широко распространены нарушения ради сокращения сроков изготовления (повышения выработки). Поэтому значительный эффект могут вызвать мероприятия по повышению технологической дисциплины.

Приведенные выше рекомендации и подходы широко применяются в ОАО „НИИ ОЭП“ (г. Сосновый Бор Ленинградской области) при изготовлении опытных образцов термонерасстраиваемого низкофонового ИК объектива „Сажень ТА-ИК“, ИК-объектива с дискретно изменяемым фокусным расстоянием „ИК-05“ (подробно рассмотрены в работах [6, 7]) и других сложных, высокотехнологичных ОМС. Эти подходы позволили сократить время изготовления ОМС (с учетом вышеизложенных рекомендаций) не менее чем на 25—30 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков М. А. Интернационализация НИОКР и роль ТНК на современном этапе развития мировой экономики // Проблемы современной экономики. 2015. Т. 54, № 2. С. 129—131.
2. Денисов А. Р. Принципы конструкторско-технологического проектирования в условиях мелкосерийного машиностроительного производства // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 12. С. 56—60.
3. Медунецкий В. М., Солк С. В. Опыт применения и перспективы технологии алмазного микроточения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 89, № 1. С. 165—170.
4. Лебедев О. А., Сабинин В. Е., Солк С. В. Крупногабаритный многоспектральный объектив // Оптический журнал. 2011. Т. 78, № 11. С. 24—27.
5. Никифоров А. Д. Управление качеством. М.: Дрофа, 2006. 719 с.
6. Солк С. В., Лебедев О. А. Инфракрасный термонерасстраиваемый объектив // Оптический журнал. 2012. Т. 79, № 12. С. 38—40.
7. Нужин В. С., Нужин А. В., Солк С. В. Контроль положения визирной оси инфракрасной оптической системы с переменным фокусным расстоянием // Оптический журнал. 2005. Т. 72, № 3. С. 34—36.

## Сведения об авторах

- Виктор Михайлович Медунецкий** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Сергей Вольдемарович Солк** — д-р техн. наук; ОАО „НИИ ОЭП“; начальник лаборатории; E-mail: solk@sbor.net
- Олег Анатольевич Лебедев** — ОАО „НИИ ОЭП“; ведущий инженер-расчетчик; E-mail: oleg.dr-lebedev@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
технологии приборостроения

Поступила в редакцию  
23.03.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Медунецкий В. М., Солк С. В., Лебедев О. А. Опыт единичного и мелкосерийного производства оптико-механических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 7. С. 600—604.

**EXPERIENCE IN SINGLE AND SMALL BATCH PRODUCTION  
OF OPTICAL-MECHANICAL SYSTEMS**

**V. M. Medunetsky<sup>1</sup>, S. V. Solk<sup>2</sup>, O. A. Lebedev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: vm57med@yandex.ru

<sup>2</sup> Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering,  
188540, Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

The increasing role of single and small batch production of industrial products in today's global economy is noted. A number of technical solutions to reduce production time and resource costs in the manufacture of prototypes of optical-mechanical systems and their small-scale production is considered. The efficiency of the use of diamond micromachining technology in the manufacture of prototypes of optical-mechanical systems is demonstrated. The examples of objective lenses designed and manufactured in accordance with proposed recommendations are presented.

**Keywords:** single and small batch production, optical-mechanical system, lens, optical glass, diamond turning

**Data on authors**

- Viktor M. Medunetsky** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technologies; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Sergey V. Solk** — Dr. Sci.; Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering; Head of Laboratory; E-mail: solk@sbor.net
- Oleg A. Lebedev** — Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering; Leading Engineer-Designer; E-mail: oleg.dr-lebedev@yandex.ru

**For citation:** *Medunetsky V. M., Solk S. V., Lebedev O. A.* Experience in single and small batch production of optical-mechanical systems // *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2016. Vol. 59, N 7. P. 600—604 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-600-604