

УДК 658.5:338.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И СИНТЕЗ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРЕЦИЗИОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Никируй А.Э.

ООО «НПЦ «АЛЬФА», Москва, e-mail: a.nikiruy@gmail.com

В связи с необходимостью уменьшения производственных затрат опытного и мелкосерийного прецизионного машиностроения и принятия оптимальных решений при проектировании инновационной продукции в работе предлагаются методы и средства оптимизации производственных процессов и синтез организационно-технических решений опытного и мелкосерийного прецизионного машиностроения. Проработан комплекс методов и средств, позволяющий определить оптимальный способ производства изделий, основываясь на особенности технологий, принадлежности оборудования предприятию, смежнику или наличие на рынке, времени и стоимости изготовления прецизионных деталей. Данный комплексный подход описывает средства оптимизации производственных процессов и постановку оптимизационной задачи с входными параметрами, ограничениями, которые включаются в методики и средства оптимизации производственных процессов и не включаются, но учитываются при синтезе организационно-технических решений. Также представлен перечень параметров, методик, способов и инструментов, используемых при оптимизации производственных процессов. В работе учитываются общие условия проектирования, влияющие на снижение стоимости конечного изделия при оптимизации производственных процессов прецизионного машиностроения. Предлагаются общие рекомендации по перечню и сбору данных для реализации методик и средств оптимизации производственных процессов и синтеза организационно-технических решений.

Ключевые слова: оптимизация производственных процессов, организация производства, опытное производство, мелкосерийное производство, машиностроение, прецизионное машиностроение, прецизионное производство, экономическая эффективность

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES AND SYNTHESIS OF ORGANIZATIONAL TECHNICAL SOLUTIONS FOR PRECISION MECHANICAL ENGINEERING

Nikiruy A.E.

ALPHA Research & Manufacturing Co., Moscow, e-mail: a.nikiruy@gmail.com

In connection with the need to reduce the production costs of experimental and small-scale precision engineering and make optimal decisions when designing innovative products, the paper proposes methods and tools for optimizing production processes and the synthesis of organizational and technical solutions for experimental and small-scale precision engineering. A set of methods and tools has been worked out to determine the optimal method for manufacturing products, based on the features of technologies, whether the equipment belongs to an enterprise, a subcontractor, or the availability on the market, time and cost of manufacturing precision parts. This integrated approach describes the means of optimizing production processes and the formulation of an optimization problem with input parameters, constraints that are included in the methods and means of optimizing production processes, and are not included, but are taken into account when synthesizing organizational and technical solutions. A list of parameters, methods, methods and tools used in optimizing production processes is also presented. The work takes into account the general design conditions that affect the reduction in the cost of the final product when optimizing the production processes of precision engineering. General recommendations are offered on the list and collection of data for the implementation of methods and tools for optimizing production processes and synthesis of organizational and technical solutions.

Keywords: optimization of production processes, organization of production, pilot (experimental) production, small-scale production, mechanical engineering, precision engineering, precision production, economic efficiency

Опытное и мелкосерийное производство занимает существенную часть затрат общей программы реализации инновационной продукции. Одна из причин высокой стоимости заключается в необходимости изготовления единичных или малых серий деталей по различным технологиям. Производственное предприятие должно не только получить положительный результат своих научных и опытных изысканий, но и сохранить при этом конкурентоспособность своей продукции для получения прибыли. Для быстрого обеспечения специалистов и руководителей необходимыми данными

для принятия решения необходимы доступные методики и средства оптимизации производственных процессов.

Материалы и методы исследования

Существует множество методик и работ по выбору технологий, экономической эффективности технологий, расчету стоимости изготовления изделий и подбору оборудования для модернизации и в целом организации производства. Противоречия практики и существующих научных работ обусловлены опережением научно-технической базы перед научно-методической

базой, которая быстро устаревает. Данные методики и средства находятся в междисциплинарных областях науки, что усложняет их сбор производственным предприятием и проведение анализа. Создание комплекса методик и средств оптимизации производственных процессов от каждой сферы деятельности машиностроительного предприятия позволит получить доступ не только к удобному инструменту для использования базы знаний, расчета различных параметров, но даст возможность управлять входными данными и получить полное понимание доступных способов и оптимальной стоимости изготовления изделий. Синтез организационно-технических решений позволит минимизировать затраты на производство и упростит процесс принятия решений по применению различных технологий при изготовлении.

Постановка задачи оптимизации производственных процессов опытного и мелкосерийного прецизионного производства

Для оптимизации производственных процессов и синтеза организационно-технических решений при организации опытного и мелкосерийного прецизионного производства может быть использован алгоритм [1] и включенные в него методы и средства, которые позволяют на ранних этапах проектирования изделия получить данные по срокам и стоимости организации производства и изготовления деталей.

Научная задача в формализованном виде будет заключаться в оптимизации организации производства, основываясь на разработанных методах и средствах с применением минимального количества параметров проектируемых изделий, минимизацией сроков получения данных для организации производства и оптимизации времени и стоимости изготовления изделий. При системном исследовании процесса проектирования, организации производства и изготовления деталей поставлена оптимизационная задача по минимизации суммарной стоимости изготовления деталей $C_{дс}$ на ранних этапах проектирования в опытном и мелкосерийном прецизионном производстве.

$$C_{дс}(C_i) \rightarrow \min.$$

Необходимо рассчитать оптимальную стоимость изготовления деталей при входных параметрах и определенных ограничениях. Суммарная стоимость складывается из затрат, зависящих и не зависящих от времени изготовления детали:

$$C_{дс}(C_i) = \sum_k C_k(t) + \sum_j C_j.$$

Затраты C_k увеличиваются с увеличением времени изготовления деталей t , таким образом, задача оптимизации сводится к минимизации времени изготовления деталей.

$$t \rightarrow \min.$$

Входными данными для вычисления времени изготовления детали являются:

- а) параметры деталей, такие как материал, габаритные размеры, степень точности детали;
- б) параметры объемов производства, такие как количество деталей и вид производства (опытное или мелкосерийное);
- в) временные параметры необходимого срока изготовления деталей;
- г) множество финансово-экономических параметров, таких как параметры фонда оплаты труда, арендной платы, платежи за электроэнергию и коммунальные услуги, стоимостные параметры инструмента, оснастки, материалов, а также курс валют.

Оптимизация стоимости при фиксированном времени изготовления также осуществляется за счет выбора оборудования [2] по минимальной перерасчетной стоимости, зависящей от времени изготовления детали.

Методы и средства оптимизации производственных процессов опытного и мелкосерийного прецизионного производства

Комплекс методов и средств оптимизации производственных процессов опытного и мелкосерийного прецизионного производства состоит из следующего перечня:

- Перечень параметров проектируемой детали, доступный уже на ранних этапах проектирования деталей.
- Перечень параметров выбора технологии.
- Методика расчета времени и стоимости изготовления деталей по технологии механической обработки материала, используя процесс резания (точение) [3–5].
- Методика расчета времени и стоимости изготовления деталей по технологии селективного лазерного спекания (SLM) [6–9].
- Метод и модель выбора оборудования [2, 10–12].
- Способ повышения эффективности селективной сборки [13–15].
- Инструментальное средство по расчету стоимости изготовления деталей по заданным требованиям и ограничениям и анализу результатов расчетов.

Синтез организационно-технических решений заключается во всестороннем и оптимальном использовании всех ресурсов предприятия. Он позволяет не только определить оптимальную стоимость изготовле-

ния деталей и технологию изготовления, но и возможную степень точности изготовления деталей, коррелирующую со стоимостью ее изготовления. Также при высокой стоимости изготовления деталей или невозможности достижения требуемой точности следующим шагом является применение метода селективной сборки или возможно изменение конструкции и материалов проектируемого изделия для поиска оптимальной технологии изготовления деталей с сохранением требований к ней.

Учитываются общие условия при оптимизации производственных процессов прецизионного машиностроения, а именно:

- Уравновешивание требуемых производственных мощностей к объему выпуска изделий и применяемой технологии.
- Уменьшение доли брака за счёт применения нового оборудования, технологии или методики.
- Наличие возможности создания интерфейсов приема и передачи данных на/с оборудования с/в автоматизированную систему управления.
- Возможность дальнейшей модернизации оборудования под поточное производство и автоматизации производства.
- Наличие специалистов по выбранным технологическим процессам и для работы на оборудовании.
- Соблюдение требований безопасности здоровья человека и экологических требований.

Данные условия должны рассматриваться для каждой технологии и оборудования по отдельности.

Ограничения при реализации методов и средств оптимизации производственных процессов

Существуют ограничения и условия, влияющие на стоимость проектирования и изготовления изделия, которые не включаются в методики и средства оптимизации производственных процессов, но учитываются при синтезе организационно-технических решений при формировании данных на подготовительном этапе реализации.

Влияющими на снижение стоимости конечного изделия и прецизионного производства и определяющими на этапе проектирования будут условия, которые закладываются в конструкцию изделия, к ним относятся:

- Подбор подходящего материала и максимальное использование его характеристик.
- Учет внешних условий использования детали.
- Установка минимально возможных коэффициентов запаса для различных параметров.

- Минимальное разделение изделия на составные части, изготовление которых достижимо с помощью определенной технологии и с требуемым качеством.

- Поиск оптимальных геометрических, прочностных, эксплуатационных и других характеристик.

Оптимизация по вышеописанным условиям не рассматривается в данной работе, однако данные условия могут оказать влияние на стоимость производства деталей и решения конструктора.

Стоит отметить, что ограничениями для конструктора при реализации технических требований при проектировании изделия в данном случае будут возможности производственных мощностей и доступность или существование соответствующих технологий, что соответственно накладывает ограничения на этапе выбора технологии и оборудования.

Ограничения при реализации методов и средств оптимизации производственных процессов следующие:

- Параметры выбора технологии.
- Физико-технические параметры, используемые при расчете времени изготовления деталей по определенной технологии. Например, для токарной обработки такие, как характеристики инструмента для обработки заготовки, расчет габаритов заготовки, припусков и скорость обработки, а для селективного лазерного спекания характеристики и объемы используемого материала, мощность лазера, скорость спекания/сплавания.
- Множество параметров оборудования, которые можно назначить или определить как дополнительные. Параметры:
 - параметры, которые сравниваются с параметрами детали и для которых определяется возможность изготовления детали на данном оборудовании;
 - параметры, которые влияют на определение времени изготовления деталей;
 - параметры, определяющие наличие оборудования на предприятии, у смежника или на рынке;
 - параметры, определяющие возможность и скорость обслуживания и ремонта оборудования;
 - стоимостные параметры оборудования, включая сменные комплектующие, расходные материалы и запасные части.
- Временные параметры, такие как фонд рабочего времени при различной сменности работы, а также различные коэффициенты брака, простоя оборудования, зависящего от времени обслуживания и ремонта оборудования.
- Инвестиционные и кредитные ограничения.

Сбор и обработка данных для реализации методов и средств оптимизации производственных процессов и синтеза организационно-технических решений

Сбор данных осуществляется на всех этапах проектирования изделия и его изготовления. Существует множество систем, обеспечивающих возможность хранения и обработки данных об изделии. Все первичные данные, возникающие на каждом этапе, фиксируются и учитываются в системе, которые используются на каждом этапе организации производства. Описана модель данных, которая включает все необходимые данные и их взаимосвязи для реализации комплекса методов и средств оптимизации производственных процессов и синтеза организационно-технических решений в опытном и мелкосерийном прецизионном машиностроении.

Для практической реализации методов и средств оптимизации производственных процессов определен и описан состав данных и рекомендаций: минимальный требуемый перечень параметров детали; перечень необходимых параметров оборудования и предварительного выбора оборудования по параметрам детали; параметры выбора технологии; учет сменности работы и типа производства, опытного или мелкосерийного; наличие полноты данных, их источников и ограничений; взаимосвязи данных и их учета в расчетах; методы расчета времени изготовления деталей; методы расчета стоимости деталей; сравнение эффективности изготовления деталей с помощью различных технологий; последовательная схема и структура модели данных реализации оптимизации производственных процессов прецизионного производства; перечень параметров, влияющих на стоимость изготовления детали.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с поставленной научной задачей в данной работе сформирован перечень методов и средств оптимизации производственных процессов прецизионного машиностроения, а также входные данные и ограничения. Методы и средства оптимизации производственных процессов и синтез организационно-технических решений прецизионного машиностроения позволяют проявить узкие места в организации производства, такие как наличие подходящего оборудования на предприятии у смежников или на рынке; ограничение используемых инструментов, приспособлений, в целом оснастки; времени, затрачиваемого на из-

готовление деталей; ограничения по стоимости изготовления детали; загрузки производства по программе; необходимость в автоматизации некоторых производственных процессов; использование фонда рабочего времени и трудовых ресурсов.

Результирующие данные по методам и средствам оптимизации производственных процессов, полученные на раннем этапе проектирования детали, позволяют не только учитывать необходимые затраты на организацию производства заранее, но и установить оптимальный тип прецизионного опытного и мелкосерийного производства и управлять параметрами разработки изделия. Также они влияют в целом на принятие решений при разработке, отработке технологии, изготовлении опытных образцов, постановке на производство и изготовлении инновационных прецизионных изделий.

Отличительной особенностью данных методов и средств является полнота и взаимосвязанность необходимых данных для оптимизации производственных процессов и синтеза организационно-технических решений прецизионного машиностроения.

Необходима в первую очередь автоматизация и интеграция данных методов и средств оптимизации производственных процессов и синтез информационно-технических решений для возможности их эффективного применения на всех уровнях принятия решений на предприятиях прецизионного машиностроения. Также необходима разработка методик расчета времени и стоимости изготовления деталей по не описанным выше технологиям для расширения возможности сравнения стоимости изготовления деталей по различным технологиям.

Заключение

Стоимость процессов опытного и мелкосерийного прецизионного производства зависит от многих факторов, включая применяемую технологию и оборудование, количество необходимых деталей, степень точности и другие характеристики детали. Данный подход позволит принимать оптимальное решение не только о способе изготовления деталей на основе предварительной оценки времени и стоимости изготовления деталей по различным технологиям, но и о возможности изменения параметров деталей.

Отличием данного подхода от существующих методов и средств оптимизации производственных процессов при организации опытного и мелкосерийного прецизионного производства инновационной продукции является его комплексность.

С помощью методов и средств оптимизации производственных процессов и синтеза организационно-технических решений прецизионного машиностроения возможно принять оптимальное решение о способе производства и существенно уменьшить затраты на процессы проектирования и производства опытных и мелкосерийных прецизионных изделий.

Список литературы

1. Никируй А.Э., Дрогозов П.А. Алгоритм оптимизации технической подготовки опытного и мелкосерийного прецизионного производства // XI Чарновские чтения: сборник трудов всероссийской научной конференции по организации производства. Московский государственный университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). (Москва, 3–4 декабря 2021 г.). М.: НОЦ «Контроллинг и управленческие инновации», 2022. С. 92–97.
2. Никируй А.Э., Дрогозов П.А. Методика выбора оборудования при организации опытного производства в машиностроении // Технология машиностроения. Экономика машиностроения, организация производства. 2021. № 9. С. 46–51.
3. Бурцев В.М., Васильев А.С., Дальский А.М., Деев О.М., Диланян Р.З., Камсюк М.С., Киселев В.Л., Кондаков А.И., Мещеряков Р.К., Мухин А.В., Спиридонов О.В., Тавров В.И., Холодкова А.Г., Ястребова Н.А. Технология машиностроения. Т. 1. 2-е изд. / Под ред. Дальского А.М. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 564 с.
4. Childs T., Maekawa K., Obikawa T., Yasuo Y. Metal Machining. New York – Toronto: John Wiley & Sons Inc., 2000. 408 с.
5. Панов А.А., Аникин В.В., Бойм В.Ф., Безьязычный В.Ф., Волков В.С., Гай Л.Б., Гречишников В.А., Зайцев А.И., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Лавров Г.А., Медведь Б.В., Савин В.Б., Соловьев А.П., Старосельский А.З., Схиртладзе А.Г., Тарапанов А.С., Фарберов З.А., Харламов Г.А., Чеканова Л.Н., Чернявский Л.Б., Шестаков Н.П. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под ред. Панова А.А. М.: Машиностроение-1, 2004. 784 с.
6. Leach R.K., Carmignato S., Ayas C., Baier M., Baumers M., Blateyron F., Butler D., Charles A., Colosimo B.M., Dutton B., Elkaseer A., Gilbert D., Grasso M., Hattel J.H., Langelaar M., Mohanty S., Moylan S., Newton L., Ranjan R., Sbettega E., Scholz S.G., Senin N., Amrozia S., Bethan S., Keulen F. van, Wilson V., Woolliams P., Filippo Z. Precision metal additive manufacturing. First S.– Boca Raton, FL: CRC Press, 2020. 404 p.
7. Никируй А.Э., Лымарь С.В., Дрогозов П.А. Время и стоимость изготовления деталей методом селективного лазерного спекания при организации прецизионного производства // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 2. С. 72–77.
8. Klahn C., Meboldt M., Fontana F., Leutenecker-Twelsiek B., Jansen J. Entwicklung und Konstruktion für die Additive Fertigung. 2. Auflage. Würzburg, Deutschland: Vogel Communications Group GmbH & Co, 2021. 225 с.
9. Kadir A.Z.A., Yusof Y., Wahab M.S. Additive manufacturing cost estimation models—a classification review. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2020. Т. 107. no. 9–10. P. 4033–4053.
10. Karim R., Karmaker C.L. Machine Selection by ANP and TOPSIS Methods. Am. J. Ind. Eng. 2016. Т. 4. No. 1. С. 7–13.
11. Павлов К.С., Хоботов Е.Н. Модели выбора и замены оборудования в производственных системах машиностроительных предприятий // Автоматика и телемеханика. 2015. Т. 2. С. 125–140.
12. Антипенко В.С., Харитонов Ю.Н., Николаева Н.С. Маркетинговое исследование структуры совокупной стоимости владения для оптимизации выбора станков // Качество и жизнь. 2020. Т. 25. № 1. С. 82–86.
13. Никируй А.Э., Дрогозов П.А. Эффективность селективной сборки прецизионных оптических систем на основе виртуальной сборки изделий при организации производства на предприятиях машиностроения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2022. № 2. С. 58–61.
14. Крынин Л.И., Латыев С.М., Табачков А.Г., Фролов Д.Н., Гнездилова М.С. Расчет зазоров в сопряжениях деталей линзовых узлов объектива и его юстировка // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. С. 353–358.
15. Caputo A.C., Di Salvo G. An economic decision model for selective assembly. Int. J. Prod. Econ. Elsevier B.V. 2019. Т. 207. С. 56–69.