

УДК 658.512

Вариативные и вариантные технологические процессы в проектировании производственных систем

Лагута Виктор Степанович^(*)ipilp@mail.ru
SPIN-код: 7064-2640

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Показаны отличия и рассмотрена возможность использования вариантных и вариативных технологий изготовления деталей и деталейсборочных единиц в проектировании многономенклатурных производственных систем. Показана необходимость внедрения в практику проектирования представления изделий на этапах жизненного цикла в виде электронных структур. Представлены примеры вариантных и вариативных технологий для корпусной детали. Приведены примеры инструментальных программных комплексов для реализации рассмотренных задач.

Ключевые слова: вариантные технологии, вариативные технологии, электронная структура изделия, проектирование производственной системы, этапы жизненного цикла

Variable and variant technological processes in the design of production systems

Laguta Victor Stepanovich^(*)ipilp@mail.ru
SPIN-code: 7064-2640

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The differences are shown and the possibility of using variant and variable technologies for manufacturing parts and component assembly units in the design of multi-scale production systems is considered. The necessity of introducing into the design practice the representation of products at the stages of the life cycle in the form of electronic structures is shown. Examples of variant and variable technologies for body parts are presented. Examples of instrumental software complexes for the implementation of the considered tasks are given.

Keywords: variant technologies, variable technologies, electronic product structure, production system design, life cycle stages

Введение. Вопросы повышения качества проектирования производственных систем традиционно являются объектами научно-технических задач. Ранее основная проблематика составляла вопросы технического обеспечения — формирование станочного парка, размещение оборудования, ресурсное обеспечение (приспособления, инструмент, средства контроля, измерения и т. п.). При этом круг анализируемых (учитываемых) параметров в основном ограничивался данными по оборудованию — массогабаритные характеристики обрабатываемых деталей, требуемые характеристики мощности, быстродействие

привода и т. п. Поскольку перечень доступного оборудования был достаточно ограничен, количество вариантов реализации технологических процессов также было невелико. Размерность задачи позволяла использовать эффективные математические методы формирования производственной системы (ПС). С развитием станкостроения и внедрением информационных технологий спектр задач существенно расширился — выбор вариантов оборудования, системы ЧПУ, управления оборудованием и производством (MES-системы), интеграция с внешними процессами (ERP-системы), системы управления жизненным циклом (PDM- и PLM-системы) и др.

Традиционные технологии проектирования ПС были ориентированы на оптимизацию технической компоненты уже на стадии конструкторской проработки деталей и предполагают максимальное ограничение реализуемых технологических вариантов для снижения общих затрат на создание и последующую эксплуатацию будущей ПС. Это оправданный подход и ранее, и в настоящее время для производств, ориентированных на выпуск ограниченной номенклатуры со значительной производственной программой [1]. Использование информационных технологий существенно расширило возможности предприятий за счет автоматизации не только основных и вспомогательных процессов непосредственного производства, но обеспечивающих функционирование предприятия систем управления в целом. Перспективы развития таких производств нашли воплощение в концепции «Индустрия 4.0» в которой сформулированы основные положения их создания и эксплуатации [2]. Изменения, происходящие в производственной области, открывают новые возможности и для проектирования создаваемых и реконфигурации действующих производств. Уже на начальных этапах проектирования ПС появляется возможность для анализа (и соответственно оптимизации) по всей доступной совокупности вариантных и вариативных технологических процессов (ТП) предполагаемой к производству номенклатуры выпуска будущей ПС.

Материалы и методы. Концепция проектирования ПС современного многономенклатурного производства ориентирована на изменяющиеся условия спроса на продукцию предприятия. Это означает, что производственная система оперативно «изменяется» для обеспечения возможности изготовления деталей и полуфабрикатов, «принятых» в качестве заказа системой управления верхнего уровня. Очевидно, что все возможные «изменения» реализуются в рамках потенциала технической системы, который был заложен на стадии ее проектирования. Это, в свою очередь, означает что на начальных этапах проектирования (разработка концепции и/или аванпроекта) не нужно искусственно «сужать» количество возможных вариантов изготовления деталей и полуфабрикатов. Наоборот, конструктору (или соответствующей интеллектуальной САПР) необходимо задействовать максимально возможное количество допустимых вариантов начиная от выбора материалов и завершая вариантами комплектации сборочного процесса. В проектном процессе это позволит системно проанализировать и сформировать конфигурацию ПС на всем допустимом пространстве технологий получения конечной продукции.

Сформированное задание на изделие представляет собой множество деталей сборочных единиц (ДСЕ) — $\{ДСЕ_i\}$. Современные технологические САПР позволяют сразу «закладывать» различные варианты получения (изготовления) деталей еще на этапе конструкторского проектирования. В терминологии ГОСТ 2.053 — это конструкторская электронная структура изделия (ЭСИ) [3]. Кроме того, на этом же этапе конструктор может определить допустимые технологические варианты изготовления детали или ДСЕ, сформировав так называемую технологическую ЭСИ [3]. Таким образом, получаем множество вариантных технологических процессов для изготовления отдельной детали базовой номенклатуры будущего производства.

На этапе эксплуатации (функционирования) имеем дело с вероятными отклонениями в ходе планового производственного процесса. Это связано с отказами оборудования, непредвиденными производственными ситуациями, включением внеплановых приоритетных заказов и т. п. В этом случае могут использоваться технологически допустимые альтернативные варианты организации изготовления деталей и полуфабрикатов, уже находящихся на стадии производства. Это могут быть обходные технологии для типовых групп оборудования, альтернативные виды обработки на доступном станочном оборудовании, изменения маршрутной технологии обработки и т. п. Это так называемые вариативные технологии или вариативные технологические процессы [4]. В автоматизированном производстве такие процессы оформляются в виде эксплуатационных ЭСИ и/или функциональных ЭСИ [3]. Заметим, что для компьютерно-интегрированных производств (КИП) класса MES-систем все ЭСИ хранятся и поддерживаются в соответствующей PDM-системе, например T-FLEX PLM [5]. Современные технологии проектирования КИП позволяют уже на этапе концептуального проектирования учесть подобные возможности организации производственного процесса, а значит выбрать для реализации задуманного проекта наиболее эффективный, а главное потенциально «более живучий» вариант производственной системы [6].

Результаты. Рассмотрим приведенные положения на примере ДСЕ корпусной детали (рис. 1). Чертеж явно не отражает процесс сборки, но позволяет выделить два типа работ: первый — механообработка — изготовление деталей и последующая доработка, и второй — сварка. Очевидно, что заложенная на этапе конструирования технология изготовления с использованием сварочного процесса выбрана конструктором по соображениям использования листовой заготовки и экономии материала для случая небольшой программы выпуска конечного изделия. Увеличение программы означало бы переход к технологии изготовления литьем или штамповкой по тем же соображениям. Но даже в случае единичного производства возможны альтернативные варианты изготовления детали из поковки или круга, т. е. без использования сварки. Таким образом, на простейшем примере видно несколько вариантов реализации технологического процесса. Операции механообработки также могут быть выполнены различным образом и на различном оборудовании, более того — последовательность операций в марш-

рутном ТП изготовления детали также может быть различной в зависимости от выбранного основного технологического оборудования и сформированных наладок на используемых станках. Современные системы САПР технологических процессов позволяет сформировать такие варианты уже на начальных стадиях проектирования [7]. Таким образом, при формировании концепции будущей производственной системы появляется возможность использовать множество ЭСИ как по каждой отдельной детали, так и по совокупности деталей базовой номенклатуры, предполагаемой к производству на проектируемой ПС [8, 9].

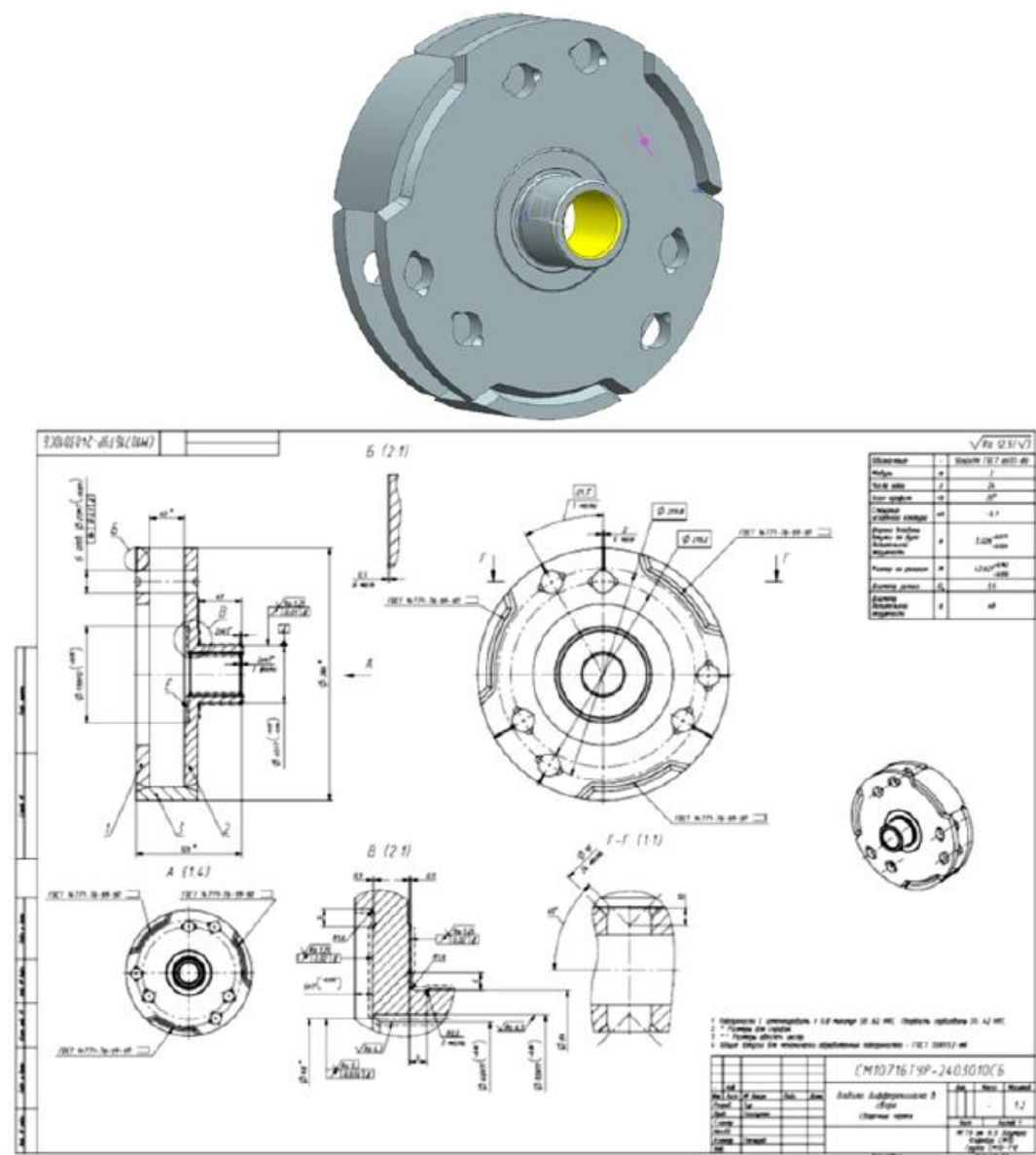


Рис. 1. Дифференциал в сборе:
а — твердотельная модель; б — чертеж ДСЕ

Как уже было показано ранее технологическая ЭСИ предполагает различные варианты изготовления детали — и по заготовкам, и по альтернативным технологиям производства. Специфика современного многономенкла-

турного производства ориентирована на одновременное производство базовой номенклатуры по различным вариантам технологических ЭСИ. Именно такой подход позволяет оптимизировать не единичный процесс изготовления отдельной детали, а производственную систему в целом (рис. 2). Изложенный подход также предполагает итеративность процесса, поэтому наиболее эффективным является использование на начальных этапах проектирования. В идеале полученная в результате совместного анализа вариантных технологических процессов конфигурация ПС может быть «подвергнута экспертизе» — проверке «живучести» на имитационной модели с учетом возможности реализации вариативных технологических процессов, учитывающих «реальные» производственные ситуации. Методики проведения подобных экспертиз разработаны достаточно давно, но лишь в современных условиях оказываются востребованы в практической инженерной работе [10].

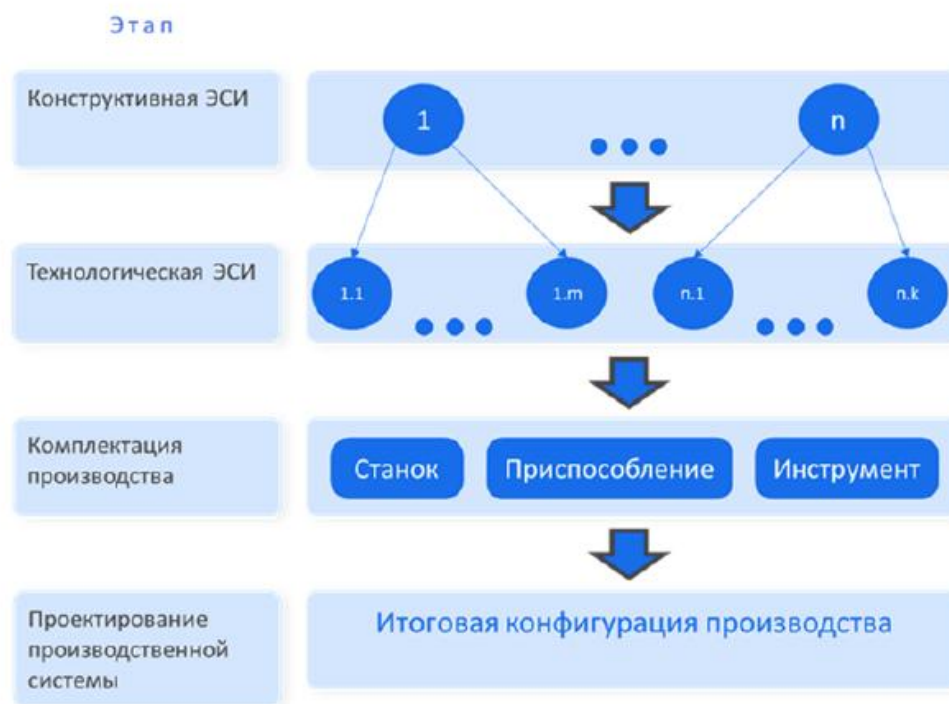


Рис. 2. Использование ЭСИ при проектировании производственной системы

Обсуждение полученных результатов. Исходная недоопределенность параметров базовой номенклатуры порождает существенную вариативность параметров для выбора основного технологического оборудования (ОТО), а это позволяет использовать различные методы для синтеза (и последующей оптимизации) состава станочной системы [9]. Очевидно, что этот процесс может (и должен) быть итерационным и «замыкаться» через корректировку базовых ТП. По принципу — «выбрали станок — уточнили ТП» и соответственно «прогнозили» процесс синтеза «по новой». И так до получения результата, устраивающего лицо принимающее решение.

Есть понимание, что можно методически «связать» конструкторско-технологические элементы (КТЭ) базовой номенклатуры с конструкторско-технологическими возможностями ОТО предполагаемого для ее выпуска. То есть связать «кубики» номенклатуры «на входе» с «кубиками» оборудования на выходе. Самый сложный момент — формирование базовых (вариантных) технологических процессов «трансформирующих» КТЭ базовой номенклатуры в совокупность параметров достаточных для выбора соответствующего ОТО.

На этапе эксплуатации имеем дело с вариативными технологическими процессами. Это «пространство» для оптимизации и принятия решения в соответствующей по иерархии системе управления производством — от диспетчирования процессов в рамках сменно-суточного задания (уровень MES) до планирования на более длительном периоде (уровень ERP).

Заключение. Необходимо отметить, что изложенный материал отражает современную тенденцию развития инструментальных средств поддержки и сопровождения проектирования производственных систем, особенно в области машиностроительных производств. Инжиниринговые компании используют как самостоятельные наработки, так и разработки отечественных поставщиков программного обеспечения. В идеале необходимо сформировать общую методику такого подхода с выходом на создание экспертной системы или по крайней мере требований на уровне технического задания по ее созданию. Такие работы ведутся в том числе и в МГТУ им. Н.Э. Баумана, например на кафедре «Компьютерные системы автоматизации производств» (РК9). Накапливаемый опыт проектных работ по созданию новых и реконфигурации действующих производств в перспективе позволит перейти к созданию системы искусственного интеллекта для решения задач в приведенной постановке.

Список источников

- [1] Проникив А.С., ред. *Проектирование металлорежущих станков и станочных систем*. Т. 3. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000, 584 с.
- [2] Аристова Н.И. Эволюция промышленной автоматизации: 2003–2023 гг. *Автоматизация в промышленности*, 2023, № 1, с. 3–11
- [3] ГОСТ 2.053–2023. *Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения*. Москва, Российский институт стандартизации, 2013, 10 с.
- [4] Кармишин А.А., Макаров В.М., Морохин П.Н. Цифровая подготовка производства в машиностроении. *Ритм машиностроения*, 2022, № 2, с. 24–32.
- [5] *Концепция T-FLEX PLM от компании «Топ системы»*. URL: <https://www.tfex.ru/plm/> (дата обращения 12.06.2025).
- [6] Лагута В.С., Ясиновский С.И. Проектирование компьютерно-интегрированных производств в составе систем управления жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении. *Вопросы инновационной экономики*, 2020, т. 10, № 3, с. 1245–1258.
- [7] Евгеньев Г.Б., Крюков С.С., Кузьмин Б.В., Стисес А.Г. Интегрированная система автоматизации проектирования технологических процессов и оперативного управления производством. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 3 (660), с. 49–60.

- [8] Буханов С.А., Лагута, В.С., Овсянников М.В. Проектирование конфигурации производственной системы на этапах жизненного цикла. *Высокие технологии в машиностроении XXII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием: матер.* Самара, СамГТУ, 2025, с. 14–19.
- [9] Лагута В.С. Проектирование недоопределенных станочных систем ориентированных на выпуск изделий в режиме «динамического заказа». *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. XII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тр.* Смоленск, Универсум, 2024, т. 2, с. 248–255.
- [10] Горнев В.Ф., Лагута В.С. Концептуальная модель оценки проектных решений ГПС механической обработки с использованием имитационного моделирования. *Интегрированные производственные системы: сб. ст.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1992, № 548, с. 60–67.