

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.И. Кондаков, А.С. Васильев

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
г. Москва, Россия*

Широкое распространение, в настоящее время многономенклатурного производства деталей, привело к возникновению ряда вопросов относительно проектирования производственных участков данного вида. При проектировании производственного участка или цеха важной задачей является определение типа производства. Решение этой задачи позволит комплексно оценить технические, организационные и экономические особенности будущего производства. Современные методы определения типа производства малоприменимы для многономенклатурного производства, поскольку главным критерием является коэффициент закрепления операций. Существующая методика определения коэффициента закрепления операций требует информации, не всегда имеющейся на начальном этапе разработки проекта. Очевидно, что разработка методики, позволяющей точно определить тип многономенклатурного производства, является актуальной задачей. В данной статье описывается предлагаемая методика оценки типа производства с помощью детали-представителя. Деталь-представитель выбирается таким образом, чтобы содержать в себе максимальное количество особенностей деталей, которые будут обрабатываться на проектируемом участке. Выделение детали-представителя позволяет обоснованно снизить размерность задачи проектирования производственных участков многономенклатурного производства. На основе разработанного технологического процесса для детали-представителя можно определить характеристики производственной программы, в частности – трудоемкости изготовления деталей. Формализованное объективное преобразование многономенклатурных производственных программ проектируемых участков в программу выпуска деталей-представителей, эквивалентных заданным программам по трудоемкости, позволяет его автоматизацию, что способствует повышению качества проектирования и сокращению его сроков.

Ключевые слова: многономенклатурное производство, тип производства, проектирование производства, деталь-представитель, производственный участок, технологическое подобие.

Традиционное определение типа производства

Тип производства – классификационная категория последнего, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. В машиностроении различают три типа производства: массовое, серийное, единичное (ГОСТ 14.004-83).

При проектировании производственных систем тип производства определяет основные принципы его организации, применяемый метод работы (непрерывно-поточный, переменнo-поточный, непоточный) и специализацию проектируемой системы [1–4]. В частности, рекомендованы [5]:

- в массовом производстве – использование предметно специализированных поточных линий;
- в серийном производстве – организация поддетально специализированных цехов и производственных участков, использование многономенклатурных поточных линий;
- в единичном производстве – создание производственных участков с технологической специализацией.

Указанное существенно понижает размерность задачи проектирования производства, конкретизирует ее, позволяет осуществить переход от концептуального проектирования к разработке технического проекта при минимальных затратах времени и средств [6].

Адекватное заданной производственной программе определение типа проектируемого производства исключительно актуально. Однако, современные методические подходы (например, [7]) к определению типа производства слабо отражают многономенклатурный характер последнего, что повышает вероятность получения ошибочных оценок.

Технология

Основной характеристикой типа производства принято считать коэффициент закрепления операций ($K_{3,0}$), определяемый в соответствии с ГОСТ 3.1121-84 по формуле:

$$K_{3,0} = \frac{O}{P}, \quad (1)$$

где O – число разных технологических операций, выполнявшихся в производственной системе в течение месяца; P – число рабочих мест в производственной системе.

В зависимости от значения $K_{3,0}$ определены типы производства (табл. 1).

Таблица 1

Типы машиностроительного производства в зависимости от значения коэффициента закрепления операций (по ГОСТ 3.1121-84)

Значение коэффициента закрепления операций ($K_{3,0}$)	Тип производства
1	Массовое
$1 < K_{3,0} \leq 10$	Крупносерийное
$10 < K_{3,0} \leq 20$	Среднесерийное
$20 < K_{3,0} \leq 40$	Мелкосерийное
$K_{3,0} < 40$	Единичное

Очевидно, что значение $K_{3,0}$ по (1) может быть определено лишь для действующей производственной системы. Использование этой характеристики на ранних этапах проектирования производственных систем затруднительно.

Для ориентировочного определения типа производства используют соотношения объемов выпуска деталей одного наименования и массы (табл. 2).

Таблица 2

Данные для ориентировочного определения типа производства [4]

Тип производства	Объем выпускаемых деталей одного наименования в год, шт.		
	Масса детали, кг		
	Более 100	10...100	Менее 10
Единичное	> 5	< 10	< 100
Мелкосерийное	5...100	10...200	100...500
Среднесерийное	100...30	200...500	500...5000
Крупносерийное	30...1000	500...5000	5000...50000
Массовое	> 1000	> 5000	> 50000

Современная шкала типов производства слишком дифференцирована [8], а диапазоны значений $K_{3,0}$ соответствующие типам производства, определены достаточно условно.

Традиционно тип производства при задании многономенклатурной производственной программы определяют отдельно для каждого из входящих в нее изделий, в частности деталей. Тип производства в целом обычно не определяют, в результате чего в одном и том же подразделении могут изготавливаться детали массового и, например, мелкосерийного производства. Существующее определение $K_{3,0}$ не учитывает многономенклатурный характер современного машиностроительного производства. При существующем методическом подходе вряд ли возможно использование $K_{3,0}$ как характеристики, полезной при решении задач проектирования производственных систем.

Определение типов многономенклатурного производства

Пусть в производственной системе изготавливают детали I наименований. Трудоемкость изготовления годовой программы выпуска деталей T_p определяют по формуле:

$$T_p = \sum_{i=1}^{i=I} N_i \cdot T_i, \quad (2)$$

где N_i – годовой объем выпуска i детали; T_i – значение штучной трудоемкости i изготовления детали.

$$T_i \approx n_i \cdot t_{штi}, i = 1, \dots, I, \quad (3)$$

где n_i – число технологических операций, связанных с изменением формы и размеров заготовок i детали; $t_{штi}$ – среднее значение штучного времени выполнения указанных операций.

Указанные операции, входящие в любой из реализующихся в производственной системе единичных технологических процессов, считают разными. Это, достаточно сильное, допущение ведет к некоторому увеличению ожидаемого I расходования производственных ресурсов проектируемой производственной системы, однако представляется обоснованным, так как целью начальных этапов проектирования является получение параметров проекта, в перспективе способствующих гарантированному выполнению проектного задания.

Число разных операций, выполняемых при изготовлении деталей заданной производственной программы (O):

$$O = \sum_{i=1}^{i=I} n_i, \quad (4)$$

где n_i – число разных операций, выполняемых в i единичном технологическом процессе.

При заданном режиме работы проектируемой производственной системы число рабочих мест в ней (P):

$$P \approx \frac{\sum_{i=1}^{i=I} N_i \cdot T_i}{\Phi}, \quad (5)$$

где Φ – действительный годовой фонд рабочего времени оборудования проектируемой производственной системы [5]. Значение P приближенно определяет число основных рабочих в проектируемой системе. С учетом (4), (5) выражение (1) преобразуется к виду:

$$K_{з.о} = \frac{\Phi \cdot \sum_{i=1}^{i=I} n_i}{\sum_{i=1}^{i=I} N_i \cdot T_i}, \quad (6)$$

Выражение (6), в отличие от (1), позволяет формально определять значение $K_{з.о}$ для условий многономенклатурного производства и оценивать его соответствующий тип, но не упрощает необходимые для этого вычисления и требует информации, не всегда имеющейся на начальных этапах разработки проекта.

Часто применяемым методом понижения размерности задачи проектирования, рассматриваемой далее на примере проектирования участка изготовления деталей, является использование приведенной производственной программы [1, 5].

Рассматриваемый метод применяют при проектировании участков многономенклатурного производства, чаще всего мелко-среднесерийного типов, и ограниченной технологической информации о предмете производства. Формирование приведенной производственной программы начинают с выделения из всей совокупности деталей, планирующихся к изготовлению на проектируемом участке детали-представителя.

В существующей профессиональной литературе [1–6], [9–11] и др. понятие «деталь-представитель» не определено, а рекомендации по ее выделению не достаточны. Чаще всего деталь-представитель выделяют лишь на основе визуального сравнения конструкций и некоторых технологических характеристик деталей, планирующихся к изготовлению на проектируемом участке.

Деталь-представитель – одна из деталей заданной номенклатуры, проектируемого производственного участка, конструкция и технологический процесс изготовления которой наиболее полно отражают конструктивные и технологические решения, характерные для всей совокупности деталей заданной номенклатуры, а также процессы-аналоги (типовые, групповые). По результатам попарного сравнения I процессов изготовления деталей заданной номенклатуры $\{D_i\}, D_i = 1, \dots, I$ строят матрицу оценок их технологического подобия [13]:

	$D_1 D_2 \dots D_I$	
D_1	$1 \dots S_{1,2} S_{1,I}$	
\dots	\dots	
D_I	$S_{I,1} S_{I,2} \dots 1$	(7)

где S_{ij} – оценка технологического подобия деталей D_i и D_j ; $i, j = 1, \dots, I$. Здесь

$$S_i = \frac{2m}{a+b}, \quad (8)$$

где a, b – число технологических операций в процессах изготовления деталей D_i и D_j [8].

Деталь является деталью-представителем номенклатуры, если:

$$\exists D_p \in \{D_i\}, \sum_{j=1}^{i=1} S_{p,j} = \max. \quad (9)$$

Технологический процесс изготовления детали-представителя должен быть разработан до уровня единичного процесса с техническим нормированием, определением штучно-калькуляционных времен операций, суммарных трудоемкости и станкочасов [9]. Таким образом, для выделенной детали-представителя определены: наименование (D_p), годовой объем выпуска (N_p), трудоемкость изготовления (T_p).

Приведенная программа – это программа выпуска детали-представителя, эквивалентная по трудоемкости программе выпуска деталей заданной номенклатуры проектируемым производственным участком. Приведенная программа позволяет перейти от многономенклатурной программы к программе выпуска единственного изделия – детали-представителя. Проектирование по приведенной программе особенно эффективно, если выполняется предварительная селекция планирующихся к изготовлению деталей и формирование их технологически подобных групп [14–16]. В этом случае детали-представители, приведенные программы и типы производства определяются для каждой группы. Значение $K_{3.0}$ для группы технологически подобных деталей может быть оценено по формуле:

$$K_{3.0} = \frac{\Phi \cdot n_p}{(N_p)_{\text{пр}} \cdot T_p}, \quad (10)$$

где n_p – число операций в маршрутном технологическом процессе изготовления детали-представителя; T_p – трудоемкость изготовления детали-представителя; $(N_p)_{\text{пр}}$ – приведенная программа выпуска детали-представителя, эквивалентная по трудоемкости заданной многономенклатурной программе.

При неизвестных, как правило, значениях трудоемкостей $\{T_i\}$ изготовления деталей заданной номенклатуры $\{D_i\}$ они могут быть приближенно определены по формуле:

$$T_i = \frac{2mt_i}{S_{p,i}} - \frac{t_i}{t_p} T_p, \quad (11)$$

где t_p, t_i – средние значения штучно-калькуляционного времени для операций изготовления соответственно детали-представителя и любой (i) детали заданной номенклатуры; m – число тождественных (подобных) операций в процессах изготовления детали-представителя и (i) детали заданной номенклатуры; $S_{p,i}$ – оценка технологического подобия деталей D_p и D_i , $i \neq p$. Соотношение (11) справедливо при

$$mt_i > \frac{T_p \cdot S_{p,i}}{2}. \quad (12)$$

Условие приведения производственной программы:

$$(N_i)_{\text{пр}} \cdot T_p = T_i \cdot N_i, \quad (13)$$

где N_i – исходно заданный объем выпуска i детали номенклатуры; T_i – трудоемкость изготовления i детали заданной номенклатуры.

Приведенный к детали-представителю D_p объем выпуска деталей проектируемым участком $(N_p)_{\text{пр}}$:

$$(N_p)_{\text{пр}} = N_p + \sum_{i=1}^{i=I} \frac{T_i \cdot N_i}{T_p}, \quad (14)$$

где N_p – исходный объем выпуска детали, признанной деталью-представителем. Число рабочих мест в проектируемой производственной системе может быть определено аналогично (5):

$$P \approx \frac{(N_p)_{\text{пр}} \cdot \sum_{i=1}^{i=I} T_i}{\Phi}. \quad (15)$$

Величина P является важнейшим параметром проектируемого производственного участка.

Изложенный методический подход к оцениванию типа многономенклатурного производства, определению приведенных программ выпуска и определению числа рабочих мест на проектируемом производственном участке протестирован на результатах проектирования предметно-замкнутых участков мелкосерийного изготовления ступенчатых валов, дисков, зубчатых колес в использовании технологических процессов-аналогов. Результаты тестирования указывают на перспективность его применения при практическом проектировании производственных участков.

Достоинством метода является его нормализованный характер, позволяющий в перспективе его автоматизацию, что превращает его в мощный инструмент повышения эффективности проектирования производства.

Выводы

1. Традиционный методический подход к определению типа проектируемого производства слабо отражает его многономенклатурный характер, что повышает неопределенность условий проектирования и вероятность ошибочных оценок.

2. Выделение деталей-представителей на основе количественных оценок технологического подобия позволяет снизить размерность задачи проектирования производственных участков многономенклатурного производства деталей машин.

3. Разработанная формализованная методика позволяет на начальном этапе проектирования многономенклатурного производственного участка объективно определить число основных рабочих мест в нем, являющееся важнейшим количественным параметром проекта.

Литература

1. Мельников, Г.Н. Проектирование механосборочных цехов: учеб. для вузов / Г.Н. Мельников, В.П. Вороненко. – М.: Машиностроение, 1990. – 252 с.
2. Чарнко, Д.В. Основы проектирования механосборочных цехов / Д.В. Чарнко, Н.Н. Хабаров. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 67–137.
3. Мамаев, В.С. Основы проектирования машиностроительных заводов (цехи механосборочного производства) / В.С. Мамаев, Е.Г. Осипов. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 119–205.
4. Брюхан, В.Н. От проектирования участков и цехов к построению гибких производственных систем / В.Н. Брюхан // Вестник МГТУ СТАНКИН. – 2010. – № 2. – С. 56–62.
5. Вороненко, В.П. Проектирование машиностроительного производства: учеб. для вузов / В.П. Вороненко, А.Г. Схиртладзе, Ю.М. Соломенцев. – М.: Дрофа, 2007. – 384 с.
6. Грундиг, К. Проектирование промышленных предприятий: Принципы. Методы. Практика: пер. с нем. / К. Грундиг. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 340 с.
7. Технология машиностроения: учеб. для вузов. В 2 т. Т. 1: Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев и др.; под ред. А.М. Дальского, А.И. Кондакова. – 3-е изд., испр. и перераб. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 478 с.

8. Volchkevich, I. Production program analysis and manufacturing scheme development at the justification of investment of investment stage / I. Volchkevich, V. Galiy // *Advanced composite materials and technologies for aerospace applications: Proceedings of the first international workshop*. – Wrexham, 2011. – P. 96–100.

9. *Технология машиностроения: учеб. для вузов. В 2 т. Т. 2: Производство машин* / В.М. Бурцев и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – 3-е изд., испр. и перераб. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 511с.

10. Потапов, Е.М. Автоматизация процессов проектирования машиностроительных объектов / Е.М. Потапов, АН. Феофанов // *Вестник МГТУ СТАНКИН*. – 2009. – № 1. – С. 51–54.

11. Вороненко, В.П. Применение имитационного моделирования при проектировании или реконструкции производственных участков / В.П. Вороненко, Е.В. Михайлов, Я.В. Соколова // *Вестник МГТУ СТАНКИН*. – 2015. – № 3. – С. 29–33.

12. Кондаков, А.И. Структурное наследование и подобие технологических объектов / А.И. Кондаков // *Вестник МГТУ. Машиностроение*. – 1997. – № 2. – С. 89–95.

13. Кондаков, А.И. Теория принятия проектных решений: конспект лекций / А.И. Кондаков, А.С. Васильев. – М.: Издат. дом «Спектр», 2015. – 104 с.

14. Кондаков, А.И. Формирование групп технологически подобранных деталей при обеспечении загрузки производственных систем / А.И. Кондаков // *Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение*. – 2001. – № 3. – С. 117–126.

15. Кондаков, А.И. Экспресс-оценка возможности изготовления изделий в производственной системе фиксированной структуры / А.И. Кондаков, К.С. Горлышев // *Вестник машиностроения*. – 2002. – № 5. – С. 53–56.

16. Васильев, А.С. Выбор планировок-аналогов при проектировании технологических комплексов изготовления деталей машин / А.С. Васильев, В.В. Галлий // *Инженерный журнал. Справочник*. – 2014. – № 2. – С.25–28.

Кондаков Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, kondakov1950@mail.ru.

Васильев Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, vas@bmstu.ru.

Поступила в редакцию 31 мая 2018 г.

DOI: 10.14529/engin180207

A FORMALIZED METHOD FOR DESIGNING MULTIPRODUCT MANUFACTURE

A.I. Kondakov, kondakov1950@mail.ru,

A.S. Vasiliev, vas@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The widely spread multiproduct manufacture of component parts has led to a number of issues connected with designing this type of production sites. When designing a production site or workshop, an important task is to determine the type of production. If this problem is solved, this will make it possible to comprehensively assess the technical, organizational, and economic features of future production. Modern methods for determining the type of production are of little

relevance for multiproduct manufacture, since the main criterion is the coefficient of operation consolidation. The existing methodology for determining the coefficient of operation consolidation requires the information that is not always available at the initial stage of project development. It is obvious that the development of a methodology that would make it possible to accurately determine the type of multiproduct manufacture is a relevant task. This article describes the proposed methodology for assessing the type of production using a representative part. The representative part is selected in such a way as to contain the maximum number of features of the parts that will be processed on the projected site. Selecting the representative part allows us to justifiably limit the task of designing production sites of multiproduct manufacture. The developed technological process for the representative part makes it possible to determine the characteristics of the production program, in particular, the labor intensiveness of manufacturing parts. The formalized objective transformation of multiproduct manufacture programs of the projected sites in the program for representative part production which are equivalent to the given programs in labor intensiveness allows it to be automatized, which contributes to the improvement of design quality and reduces its terms.

Keywords: multiproduct manufacture, type of production, design of production, representative parts, production site, technological similarity.

References

1. Melnikov G.N., Voronenko V.P. *Proektirovanie mekhanosborochnyh cekhov* [Design of Machine Assembly Departments]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 252 p.
2. Charnko D. V., Habarov N. N. *Osnovy proektirovaniya mekhanosborochnyh cekhov* [Basics of Designing of Assembly Plants]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 352 p.
3. Mamaev V. S., Osipov E. G. *Osnovy proektirovaniya mashinostroitel'nyh zavodov* [The Fundamentals of the Design of Machine-Building Plants (Workshops of Mechanical Assembly Production)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974. 296 p.
4. Brukhanov V.N. [From Designing of Workshop Sections and Workshops to Flexible Manufacturing Systems Building]. *Vestnik "MSTU "STANKIN"*, 2010, no. 2, pp. 56–62. (in Russ.)
5. Voronenko V.P., Skhirtladze A.G., Solomentsev U.M. *Proektirovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Design of Machine Building Production]. Moscow, Drofa Publ., 2007. 384 p.
6. Grundig K. *Design of Industrial Enterprises: Principles. Methods. Practice.* Moscow, Alpina Business Books Publ., 2007. 340 p.
7. Burtsev V.M. and et al. *Tekhnologiya mashinostroeniya. T. 1: Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Technology of Machine Building. Vol. 1: Basics of Machine Building Technology]. Moscow. Bauman MSTU Publ., 2011. 478 p.
8. Volchkevich I., Galiy V. Production Program analysis and Manufacturing Scheme Development at the Justification of Investment of Investment Stage. *Advanced Composite Materials and Technologies for Aerospace Applications: Proceedings of the First International Workshop.* Wrexham, 2011, pp. 96–100.
9. Burtsev V.M. *Tekhnologiya mashinostroeniya. T. 2: Proizvodstvo mashin* [Technology of Machine Building. Vol. 2: Production of Machines]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 511 p.
10. Potapov E.M., Feofanov A.N. [Automation of Processes of Designing of Machine-Building Objects]. *Vestnik "MSTU "STANKIN"*, 2009, no. 1, pp. 51–54. (in Russ.)
11. Voronenko V.P., Michailov E.V., Sokolova Y.V. [Using Simulation Modeling While Designing or Revamping Production Areas]. *Vestnik "MSTU "STANKIN"*, 2015, no. 3, pp. 29–33. (in Russ.)
12. Kondakov A.I. [The structural similarity of inheritance and processing facilities]. *Vestnik MGTUimeni N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald MSTU named after N.E. Bauman. Ser. Machine], 1997, no. 2, pp. 89–95. (in Russ.)
13. Kondakov A.I., Vasiljev A.S. *Teoriya prinyatiya proyektnykh resheniy: konspekt lektsiy* [Theory of Taking Project Decisions: Lectures. Moscow, Publishing house "Spectr"], 2015. 104 p.
14. Kondakov A.I. [Formation of Information Design Principles of Block Parts Manufacturing Processes]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* [Handbook. An Engineering Journal], 2001, no. 3, pp. 15–20. (in Russ.)

15. Kondakov A.I., Gorlishev K.S. [Rapid Assessment of Possibility of Manufacturing Items in the System of Fixed Structure]. *Bulletin of Machinebuilding*, 2002, no. 5, pp. 53–56. (in Russ.)

16. Vasiljev A.S., Galiy V.V. [Selection of Design Alternatives when Designing Technological Complexes of Manufacturing Machine Components]. *Engineering Journal. Reference Book*, 2014, no. 2, pp. 25–28. (in Russ.)

Received 31 May 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кондаков, А.И. Формализованная методика проектирования многономенклатурного производства / А.И. Кондаков, А.С. Васильев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 61–68. DOI: 10.14529/engin180207

FOR CITATION

Kondakov A.I., Vasiliev A.S. A Formalized Method for Designing Multiproduct Manufacture. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 61–68. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180207
