

УДК 621.01

На правах рукописи

Галий Валентин Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВЕ НАПРАВЛЕННОГО
ФОРМИРОВАНИЯ НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗДЕЛИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КОЛИЧЕСТВЕННО ОЦЕНИВАЕМОГО ПОДОБИЯ РЕШЕНИЙ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук



Москва, 2016

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Васильев Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: **Вороненко Владимир Павлович**,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологии машиностроения» ГОУ МГТУ
«Станкин»

Моргунов Юрий Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технологии машиностроения
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

Ведущая организация: Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П.А. Соловьева

Защита состоится _____ 2016 г. _____ на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Телефон для справок 8(499) 267-09-63

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь совета
д.т.н., доцент

В.П. Михайлов

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Васильев Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: **Вороненко Владимир Павлович**,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологии машиностроения» ГОУ МГТУ
«Станкин»

Моргунов Юрий Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технологии машиностроения
ФГБОУ ВО «Московский государственный
машиностроительный университет (МАМИ)»

Ведущая организация: Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П.А. Соловьева

Защита состоится _____ 2016 г. на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Телефон для справок 8(499) 267-09-63

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь совета
д.т.н., доцент

В.П. Михайлов

Актуальность работы. Непрерывное совершенствование машин и технологий их изготовления требуют и непрерывной модернизации действующих и создания новых машиностроительных производств. Это связано с решением задач реконструкции, технического перевооружения, перепрофилирования и проектирования новых производственных систем и технологических комплексов разных уровней.

Сложность поставленных задач требует модернизации и повышения эффективности методологии их решения. Традиционная методология проектирования машиностроительных производств в значительной мере является эмпирической, основывающейся на опыте и знания проектировщика и существующей нормативной базе. Сказанное относится к проектам всех уровней, вплоть до нижнего – проектов производственных участков, каждый из которых представляет собой совокупность детализированных проектных решений, являющихся составной частью всех проектов верхних уровней.

Обширная проблематика проектирования технологических комплексов и производственных участков, в частности – изготовления деталей, не нашла в настоящее время достойного разрешения в его методическом обеспечении. Недостаточная процедурная разработанность последнего, проявляющаяся в отсутствии формализованных проектных процедур его структурных этапов, субъективизме решений и т.д. ведет к необоснованному увеличению сроков и стоимости проектных решений и снижению инвестиционной привлекательности машиностроения.

Анализ современного состояния методологии проектирования производственных участков изготовления деталей машин показал, что исследования, направленные на повышение эффективности проектирования является актуальным.

Цель работы. Повышение эффективности проектирования производственных участков изготовления деталей инвариантно их классу и типу производства.

Основные задачи исследования:

1. Разработка методики направленного формирования номенклатуры деталей, планирующихся к изготовлению в проектируемых производственных участках.
2. Совершенствование методического обеспечения проектирования производственных участков при использовании формализуемых отношений проектных решений.
3. Разработка практических приложений направленного формирования номенклатуры и количественно оцениваемого подобия решений при проектировании производственных участков изготовления деталей.

Научная новизна результатов исследования состоит в выявлении влияния на эффективность проектирования производственных участков изготовления деталей направленного формирования номенклатуры планирующихся к изготовлению деталей и проектных решений-аналогов, выделяемых на основе количественных оценок подобия.

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении на действующих предприятиях методики направленного формирования номенклатуры деталей программы выпуска участка и методики поиска проектов-аналогов производственных участков с использованием отношений подобия проектных решений. Реализация указанных методик при разработке проекта цеха по изготовлению 135 наименований деталей гидравлических устройств применение методики направленного формирования номенклатуры деталей, планирующихся к выпуску и средств автоматизации, позволило, по экспертной оценке, повысить эффективность проектирования в 1,3 раза, а поиск аналогов на ранних стадиях проектирования способствует снижению его трудоемкости на 6,4%, что соответствует росту эффективности проектирования в 1,10 раза.

Методы исследования. Использовались фундаментальные и прикладные положения технологии машиностроения, научные основы типовой и групповой технологий, теории: систем, множеств, алгоритмов.

На защиту выносятся следующие положения:

- система классификации (классификатор) деталей на ранних этапах проектирования технологических комплексов;
- методика направленного формирования номенклатуры деталей, планирующихся к изготовлению в проектируемых производственных участках;
- система оценивания типов машиностроительного производства на основе признаков, отражающих его масштабность, номенклатурность, переналаживаемость и предсказуемость;
- методику поиска проектов-аналогов проектируемых производственных участков на основе количественного оценивания подобия проектных решений.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на

Международной Научно-технической конференции «Автотракторостроение» (Москва, 2009); на Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» (Донецк, 2011); на Международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения» (Севастополь, 2011); на международной конференции «Advanced Composite Materials and Technologies for Aerospace applications. Glyndŵr University» (Wales, UK, 2012). Основные разделы диссертации докладывались на научных семинарах кафедры «Технологии машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана в

2008...2016 г.г.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 9 печатных работах, из которых 5 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Общий объем публикаций 2,29 п.л. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 155 страниц, в том числе 122 страниц текста, 32 рисунков, 26 таблиц, список литературы из 117 наименований и приложения на 16 страницах.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность решаемой в диссертационной работе научной задачи, формулируется основная идея и научная новизна работы.

В первой главе определены особенности проектирования технологических комплексов различных уровней, проведен анализ современного состояния методологии проектирования.

Методологические основы проектирования технологических комплексов (ТК) формировались в течение длительного времени трудами отечественных и зарубежных ученых. Наиболее известными отечественными учеными-технологами являются: Андерс А. А., Балакшин Б. С., Вороненко В. П., Горанский Г. К., Егоров М. Е, Мельников Г. Н., Митрофанов В. Г., Митрофанов С. П., Соколовский А. П., Соломенцев Ю. М., Султан-Заде Н. М., Тихомиров В. А., и др. В МГТУ им. Н. Э. Баумана на кафедре «Технологии машиностроения» в настоящее время ведется ряд работ по этой актуальной тематике.

Основной проектирования ТК любого уровня (в том числе производственного участка (ПУ) является производственная программа выпуска. Но несмотря на то, что производственная программа участков является основой их разработки, ее комплексному анализу в современной методологии проектирования уделяется недопустимо мало внимания или он просто отсутствует (Рис.1).

Ввиду современной исключительной широты номенклатуры изготавливаемых деталей, отмеченное требует обязательного предварительного формирования номенклатуры деталей, планирующихся для изготовления в проектируемых цехах и ПУ. В исследованиях Васильева А. С., Кондакова А. И. доказано, что предварительная селекция номенклатуры планирующихся для изготовления деталей позволяет эффективно использовать технологический потенциал действующих производственных систем и повысить технико-экономические показатели проектируемых.

Разработка системы классификации деталей машин, пригодной для выполнения задач конструкторско-технологической подготовки производства, является давней проблемой технологии машиностроения. Решению этой проблемы З посвящены труды, А. П. Соколовского, С. П. Митрофанова, Ф. С. Демьянюка, В. В. Бойцова, А. Я. Малкина, Т. Опитца, Д. Циммфмана, В. К. Гаранско-го, Базрова Б. М. и других ученых. Малое число классификационных признаков (3...5) делает систему слишком грубой и не позволяет с достаточной точностью отнести деталь к той или иной группе (классу). Большое (20 и более) число признаков делает классификатор неудобным в работе, что приводит к возникновению ошибок.

Кроме программы выпуска задают и тип производства при проектировании ПУ. Тип производства не может однозначно характеризоваться одним параметром в виду сложности производственной системы. Ряд работ Ю. В. Соломцева, В. Л. Сосонкина, И. Л. Волчековича, Е. С. Киселева показал, что стандартизованная система определения типов машиностроительных производств не в полной мере отвечает характеру задач, возникающих при проектировании ТК (ПУ).

Традиционная методология проектирования ПУ практически не рассматривает возможность использования проектов-аналогов и их последующую структурно-параметрическую модификацию с целью превращения в проекты, соответствующие заданию на проектирование. В существующей практике проектирования использовался принцип прямой аналогии, когда проект-аналог выбирался для комплексов верхних уровней (как правило, предприятия). Однако, предприятия в целом и каждый его цех представляют собой совокупность участков с различными типами производства, что требует принципиально иных, отличных от аналога проектных решений.

Выполненный анализ современного состояния методологии проектирования ПУ изготовления деталей машин показал, что исследование, направленное на повышение эффективности проектирования ПУ является актуальным.

Цель исследования – повышение эффективности проектирования ПУ, выражющейся в снижении его сроков и затрат на его выполнение.

Достижение поставленной цели исследования связано с выполнением приведенных выше основных задач.

Во второй главе представлена концептуальная модель проектирования участков, представлен классификатор деталей машин, разработана многокритериальная классификация типов производства.

Проект ТК без учета показателей затрат на его разработку и реализацию характеризуют (Рис.1):



Рис. 1

Концептуальная модель процесса проектирования ТК изготовления деталей машин: ТП – технологический процесс; ТЭП – технико-экономические показатели.

1) Входная информация: I – множество наименований изделий, планирующихся к изготовлению в проектируемом ТК; K – множество рабочих чертежей (САД-моделей) планирующихся к изготовлению деталей с техническими требованиями на изготовление; P – множество технологических процессов изготовления планирующихся к выпуску изделий; N_I – множество объемов выпуска изделий, планирующихся к выпуску в разрабатываемом ТК.

2) Выходная информация:

No – множество объемов выпуска изделий, обеспечиваемых разрабатываемым ТК; T – множество фактических значений трудоемкостей изготовления изделий в разрабатываемом ТК; Z – множество параметров (технико-экономических показателей) спроектированного ТК. Π – проектная документация на множество ПУ, входящих в комплекс.

В представленной работе предложен новый подход к выполнению анализа программы выпуска деталей проектируемого ТК, базирующийся на формализации указанного процесса и его процедурной проработке (Рис.2). Целями анализа программы выпуска в соответствии с предложенным подходом являются:

1) предварительная селекция планирующихся к изготовлению в проектируемом ТК деталей по конструктивно-технологическим признакам и выделение

деталей, не подлежащих изготовлению в нем;

2) группирование деталей по общности конструктивно-технологических признаков и предварительное формирование программ выпуска для ПУ, предположительно входящих в ТК;

3) формирование списка участков, предположительно входящих в состав ТК.

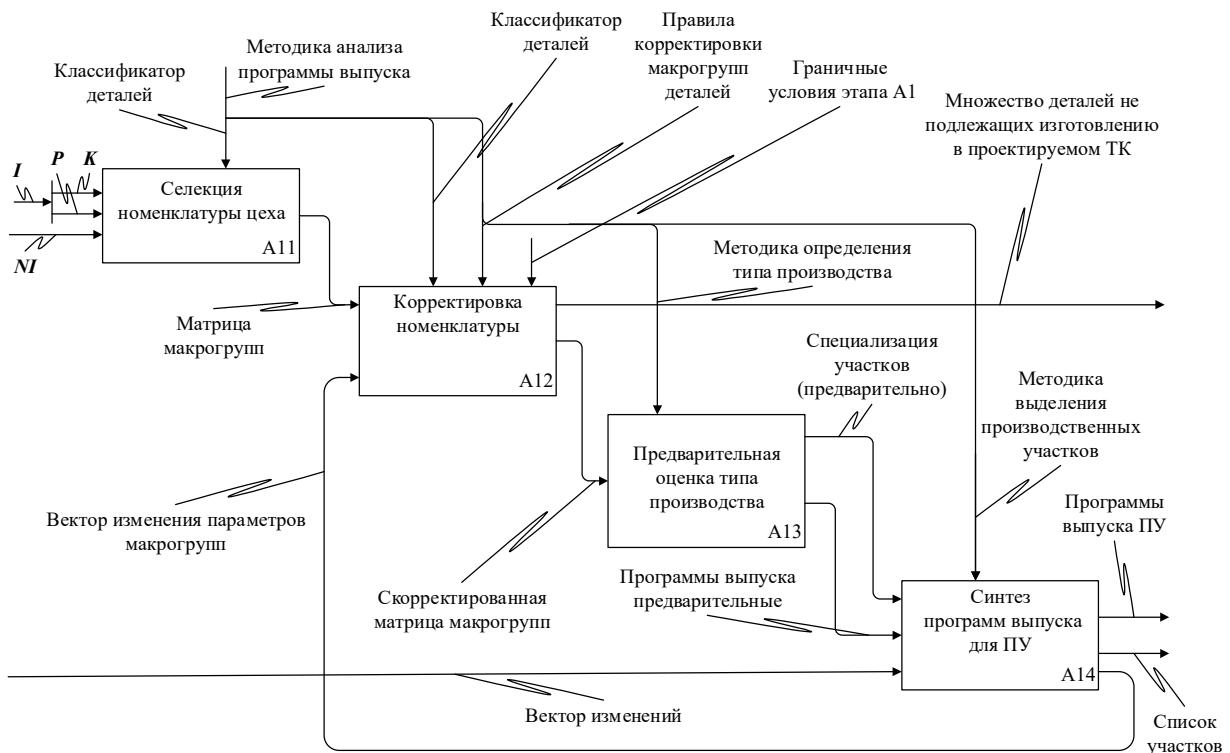


Рис. 2.

Концептуальная модель процесса анализа программы выпуска проектируемого ТК

Последовательностью проектирования по предлагаемой методике следующая:

1. Кодируют все детали, подлежащие изготовлению на проектируемом ТК с помощью предлагаемого классификатора.
2. Формируют предварительно программы выпуска ПУ со схожими деталями по схожести атрибутов.
3. Определяют предварительно тип производства для каждого из ПУ.
4. Для макрогрупп деталей выделяют детали-представители и проектируют технологические процессы в соответствии с рекомендациями для каждого типа производства конкретного ПУ.
5. Определяют характеристики желаемых ПУ и формируют ключ поиска.
6. Выполняют поиск проектов-аналогов по номенклатуре планирующихся к изготовлению деталей и определяют для каждого из проектов оценку его по-

добия по номенклатуре с заданным проектом.

7. Проводят анализ проектов-аналогов по оценке подобия и принимают решение об использовании или отказе от проекта-аналога. Если проект-аналог есть в базе, то его корректируют, внося изменения как по составу, так и по структуре планировки оборудования.

8. Определяют параметры ПУ, сравнивая их со значениями, указанными в техническом задании на проектирование. При неудовлетворительных результатах изменяют число ПУ и корректируют программы выпуска путем комбинации макрогрупп деталей, их возможного слияния и разделения.

9. Определяют множество технико-экономических показателей и сравнивают их с заданными значениями. При неудовлетворительных результатах возможен так же пересмотр программы выпуска подлежащей изготовлению в проектируемом ТК.

10. Оформляют проектную документацию (**П**) для проектируемого ТК.

Для кодирования деталей обоснован и предложен классификатор (Рис.3). Для каждого Элемента данных разработаны числовые и символьные значения, условия вхождения в группы.

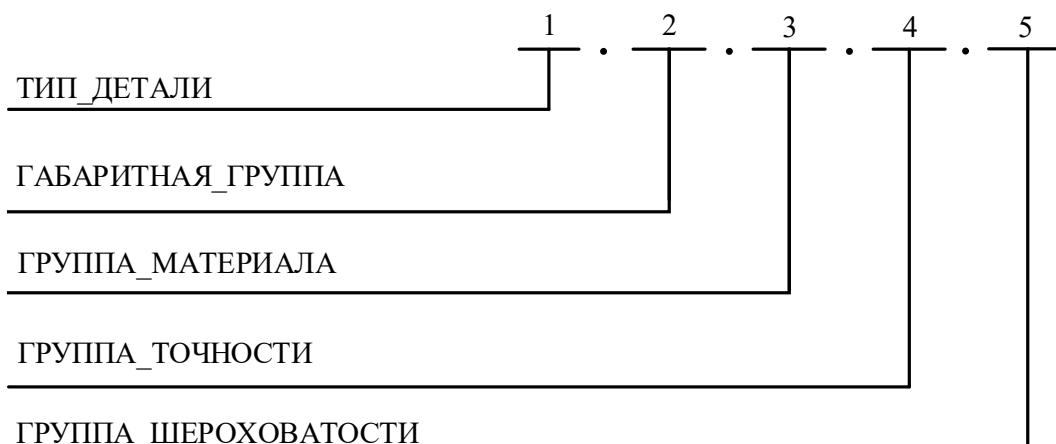


Рис.3.

Код классификационных группировок для агрегата КЛАССИФИКАТОР

В работе предлагается определять тип производства по следующим признакам:

1) масштабность (отражает объем выпуска продукции) – количество деталей или сборочных единиц одного наименования, которые необходимо изготавливать в проектируемом ТК за определенный, заранее заданный, промежуток времени;

2) номенклатурность (отражает широту номенклатуры) – перечень различных деталей и сборочных единиц, подлежащих изготовлению в структурной единице производства за определенный, заранее заданный, промежуток времени;

3) переналаживаемость (характеризуется коэффициентом закрепления

операций) – число различных операций, выполняемых в проектируемом ТК за определенный заранее заданный промежуток времени (обычно – один месяц) отнесенное к числу рабочих мест в нем;

4) предсказуемость – фактический период времени, на который известна программа выпуска изделий.

Для разделения вариантов по каждому признаку предложена нечеткая трехуровневая шкала с оценками: «много», «средне», «мало». Для выделения оценок определены диапазоны численных значений характеризующих их параметров. Приведены примеры определения типа производства.

В третьей главе приведены результаты исследования отношений проектных решений при разработке проектов ПУ и их практическое использование.

Между проектными решениями, объектами которых являются ТК разных уровней, могут быть установлены соотношения:

- а) тождественности;
- б) подобия.

Проектные решения ПУ^A и ПУ^B тождественны ($\text{ПУ}^A \equiv \text{ПУ}^B$):

$$\mathbf{I}^A \equiv \mathbf{I}^B; \mathbf{K}^A \equiv \mathbf{K}^B; \mathbf{N}^A \equiv \mathbf{N}^B; \mathbf{P}^A \equiv \mathbf{P}^B; \mathbf{T}^A \equiv \mathbf{T}^B; \mathbf{Z}^A \equiv \mathbf{Z}^B, \quad (3.1)$$

где $\mathbf{I}, \dots, \mathbf{Z}$ – множества-компоненты входной и выходной информации сравниваемых проектов ПУ.

Проектные решения ПУ^A и ПУ^B подобны ($\text{ПУ}^A \sim \text{ПУ}^B$), если:

$$\mathbf{I}^A \sim \mathbf{I}^B; \mathbf{K}^A \sim \mathbf{K}^B; \mathbf{N}^A \sim \mathbf{N}^B; \mathbf{P}^A \sim \mathbf{P}^B. \quad (3.2)$$

При оценивании подобия проектов ПУ^A и ПУ^B в первую очередь сравнивают номенклатурные списки изготавливаемых на них деталей. Результаты сравнения номенклатурных списков определяют последующие процедуры: сравнивать множества $\mathbf{K}, \mathbf{P}, \mathbf{N}, \mathbf{T}$ можно лишь для тождественных изделий, выпускаемых сравниваемыми ПУ. Тождественность множеств \mathbf{I}^A и \mathbf{I}^B устанавливают по классификационному коду, используемому при предварительной селекции номенклатуры деталей участка. Если для элементов $I_a^A \in \mathbf{I}^A$ и $I_b^B \in \mathbf{I}^B$ $I_a^A \equiv I_b^B$, то множества \mathbf{I}^A и \mathbf{I}^B подобны по элементам I_a^A и I_b^B .

Для сравниваемых ПУ численная оценка подобия номенклатурных списков ($S_{I_{A,B}}$) может быть определена по формуле:

$$S_{I_{A,B}} = \frac{2c}{m + n}, 0 \leq S_{I_{A,B}} \leq \frac{2c}{m + n} \quad (3.3)$$

где c – число пар элементов сравниваемых множеств, для которых соблюдено условия тождественности; m, n – число элементов сравниваемых множеств. При $m \neq n, m > n$: Максимальное значение оценки $S_{I_{A,B}}$ зависит от соотношения числа элементов сравниваемых множеств (Рис.4).

Реализация предложенного подхода требует:

- организации системы хранения и поиска выполненных проектов ПУ и их входных и выходных данных в необходимых для сравнения формах;
- автоматизации процесса определения оценок подобия.

На практике основным видом исходных данных, на основании которых определяются параметры проектируемого ПУ, является станкоёмкость изготовления суммарного годового объема деталей, отнесенная к каждой применяемой группе технологического оборудования. По известным значениям станкоемкостей для проектируемого ПУ с учетом могут быть определены:

- состав оборудования, определяемый списком его групп и типов (ΓT);
- количество оборудования каждой группы-типа, представляемого его списком (C), сопряженным со списком ΓT . Тем самым для проектируемого ПУ могут быть определены параметрические характеристики ПУ, представленные двумерным массивом:

ΓT	ΓT_1	ΓT_2	...	ΓT_i	...	ΓT_I	(3.4)
C	C_1	C_2	...	C_i	...	C_I	

Здесь ΓT_i – наименование ΓT i -го элемента списка; C_i – количество единиц оборудования i -ой ΓT ; I – число элементов в списке ΓT . Подобие проектов PY^A и PY^B по соответствующим спискам оценивают, выполняя действие, аналогичные выполняемым при сравнении списков I^A и I^B .

Проектирование на основе решений-аналогов, являющееся в настоящее время основным направлением его автоматизации при технологической подготовке производства [, включает две основные процедуры: поиск аналога и его направленную модификацию, преобразующую его в требуемое единичное решение. Поиск целесообразно выполнять в 2 этапа: 1) сокращение мощности множества вариантов вводом условий сравнимости; 2) поиск по известным параметрическим характеристикам объекта проектирования. Повышению эффективности и объективности поиска проектов-аналогов ПУ способствует использование отношений проектных решений. Отношение тождественности используют при проектировании ТК, базирующемся на параметрической модификации проекта-аналога. Если (см. Рис. 2) $M(I^A) = M(I^B) = 1$ (здесь M – мощность множества), $I^A \equiv I^B$; $K^A \equiv K^B$; $P^A \equiv P^B$, но $N^A \neq N^B$ (для определенности $N^A < N^B$), то наиболее вероятно, что проектные решения TK^A и TK^B структурно тождественны, но параметрически различны. Если проект TK^A принят за проект-аналог, то параметрические характеристики разрабатываемого комплекса TK^B могут быть получены из соответствующих характеристик TK^A путем преобразования:

$$p(\text{TK}^B) = p(\text{TK}^A) \cdot \frac{N^B}{N^A}, \quad (3.5)$$

где $p(\text{TK}^A)$, $p(\text{TK}^B)$ – любой из одноименных параметров проектов TK^A и TK^B соответственно (Рис.4).

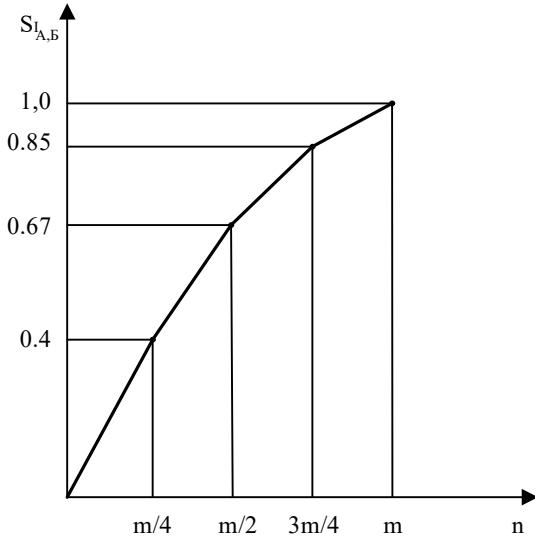


Рис. 4.

Значение максимальной оценки подобия $S_{I,A,B}$ при изменении соотношения числа элементов сравниваемых множеств

Даже неавтоматизированное использование проектов-аналогов, выделенных на основе количественных оценок подобия, позволяет снизить трудоемкость проектирования в 1,8...2 раза, а модификация планировки оборудования, выбранной при средних значениях оценки подобия 0,5...0,55 способна обеспечить снижение трудоемкости проектирования не менее чем на 25%.

В четвертой главе приведены результаты экспериментально-производственной апробации применения методики направленного формирования номенклатуры деталей и поиска аналогов проектов.

Верификацию разработанной классификации детали выполнили с привлечением групп экспертов. Была сформирована репрезентативная выборка из 20 деталей. Опрос экспертов проведен в форме анкетирования с ответами на закрытые вопросы (вопросы с веером ответов, предполагающие выбор экспертами одного из совокупности предполагаемых ответов), представляющих собой элементы данных классификатора.

Анализ распределения мнений экспертов (Рис.6) и сходства оценок для различных типов деталей (Рис.7) показал, что средняя оценка сходства мнения экспертов по элементу ТИП-ДЕТАЛИ составил 84%, что обеспечивает достаточную для практики точность идентификации деталей.

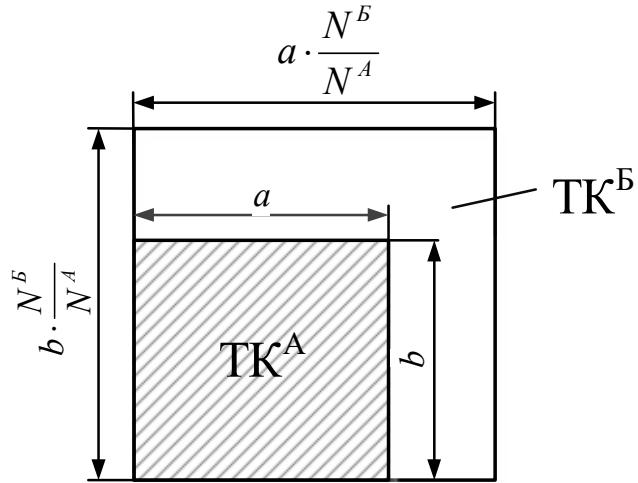


Рис. 5.

Иллюстрация параметрической модификации проект-аналога при проектировании ТК

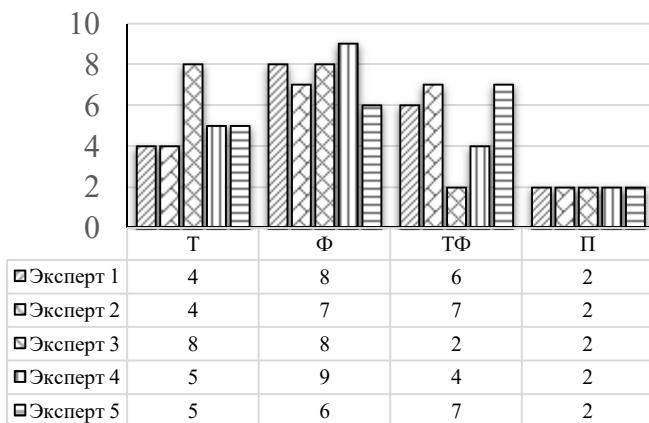


Рис. 6.

Гистограмма распределения мнений экспертов для элемента данных «ТИП_ДЕТАЛИ»

Анализ оценок доли сходства мнений экспертов по габаритным размерам целесообразно проводить для различных групп деталей, при этом общая схожесть мнений – 88%. Высокая доля схожести мнений по группе материала – 98%, по группе точности – 93%, по группе шероховатости – 82% показывает достоверность получаемых результатов при классификации. Ошибки, при классификации групп точности (Рис. 8) и шероховатости (Рис. 9) связаны с большим количеством значений, которые необходимо было анализировать.

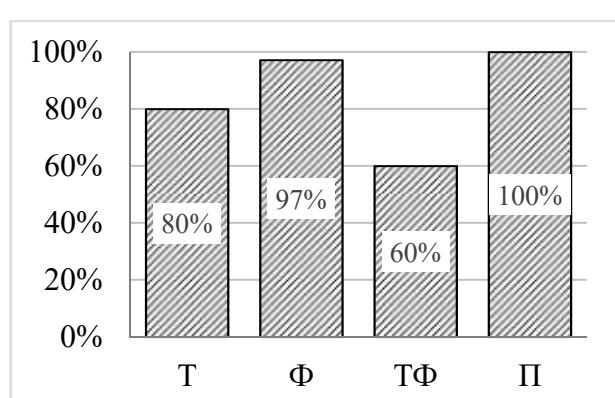


Рис. 7.

Гистограмма распределения мнений экспертов для различных типов деталей

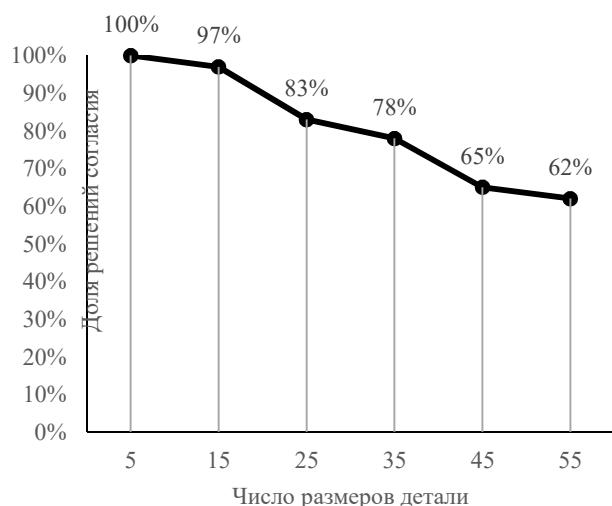


Рис. 8.

График распределения числа согласованности мнений экспертов в зависимости от числа анализируемых размеров детали

Была проведена оценка эффективности проектирования производственных участков на основе реальной программы выпуска цеха по предлагаемой и традиционной методиках. Используя предложенный классификатор, были вы-

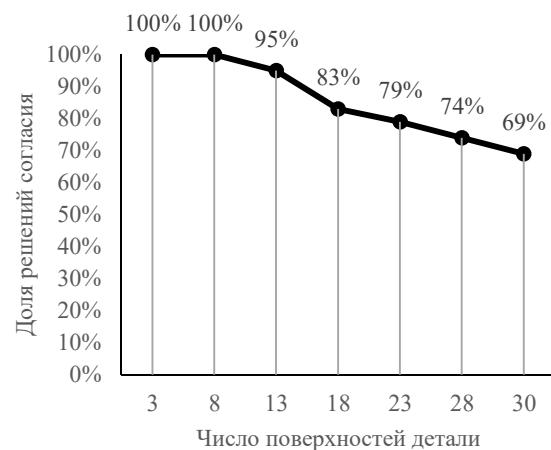


Рис. 9.

График распределения числа согласованности мнений экспертов в зависимости от числа анализируемых поверхностей детали

делены 24 группы деталей и определен состав каждой из групп.

Для каждой из намеченных групп выделяли детали-представители. По результатам технического нормирования, по типовым нормативам и результатам оценочных расчетов определяли ожидаемые значения станкоемкостей их изготовления. Не учитывали операции контроля, транспортирования, испытаний и нанесения покрытий.

Дальнейшие расчеты количества основного технологического оборудования ведутся по методике расчета станков для точной программы выпуска, так как данные о станкоемкостях известны для всех деталей-представителей. В качестве критерия граничного условия примем – число станков, которое на участке для легкого машиностроения должно находиться в пределах 15...50 шт.

Анализ результатов расчета показал:

- 1) существуют макрогруппы деталей, изготовление которых целесообразно на отдельных ПУ;
- 2) низкие значения коэффициента загрузки оборудования для остальных групп и малое количество станков, указывают на то, что необходимо произвести укрупнение групп деталей, поскольку для изготовления данных деталей применяется оборудования одного типа;
- 3) существует группа деталей изготавливать которые в проектируемом цехе нецелесообразно.

Таблица 1.

Типы производства для различных производственных участков

№	Приведенная программа выпуска, N_{PP}	Масса max , кг	Суммарная номенклатура изготавливаемых деталей	Тип производства по основным критериям
1	8670	0,35	180	Среднемасштабное Малономенклатурное
2	8210	0,1	300	Среднемасштабное Малономенклатурное
3	5850	11,2	190	Крупномасштабное Малономенклатурное
4	5910	0,6	80	Среднемасштабное Малономенклатурное
5	2580	0,7	50	Среднемасштабное Малономенклатурное
6	11380	1,2	290	Среднемасштабное Малономенклатурное

Были проведены 3 итерации по формированию программ выпуска участков, определены типы производств по предлагаемой методике (Таблица 1). Был проведен расчет количества оборудования по предлагаемой (Таблица 2) и традиционной методиках (Таблица 2).

Пусть сроки проектирования между традиционным и предложенным подходом сопоставим. Оценка расчетного количества станков без учета специализации участков не представляется целесообразной. Так как, если ранжировать подетальную, предметную и технологическую формы специализации по технико-экономическим критериям (производительности труда, использованию оборудования, связыванию оборотных средств и приведенных затрат на годовой выпуск), то их соотношение составит 1,9: 1,5: 1 ($K_{РАНЖ}$).

Таблица 2.
Количество оборудования при традиционном расчете по точной программе выпуска цеха

Расчет количества основного технологического оборудования								
Токарного			Фрезерного			Сверлильного		
Ср	Сп	Кз	Ср	Сп	Кз	Ср	Сп	Кз
56,22	68	0,83	32,69	38	0,86	11,05	13	0,85

Таблица 3.
Коэффициенты ранжирования и форма специализации для различных ПУ

№ ПВ	Количество станков			Специализация	$K_{РАНЖ}$
	Токарных	Фрезерных	Сверлильных		
2	15	4	1	Подетальная	1,9
3	13	4	1	Подетальная	1,9
4	15	4	1	Подетальная	1,9
19	16	17	10	Подетальная	1,9
23	2	13	3	Подетальная	1,9
1в	12	3	2	Предметная	1,5

Оценим относительную эффективность (K_E) полученных проектных решений, используя ранжирование для всего парка оборудования.

$$K_E = \frac{K_{ТКА}}{K_{ТКБ}} = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{C_{\pi_j}}{K_{ранж_j}}}{\sum_{i=1}^n \frac{C_{\pi_i}}{K_{ранж_i}}} = \frac{73,96}{119} = 0,62$$

Полученное значение (K_E) свидетельствует о том, что, несмотря на

большее количество станков в предлагаемом варианте, экономическая эффективность выше относительно традиционного подхода на 38%.

В соответствии с рекомендациями для проектируемого цеха предложена организация шести участков с предметной специализацией, охватывающих изготовление 81% номенклатуры деталей цеха. В проекте цеха предложенные рекомендации были учтены: организовано 5 ПУ с выявленными при анализе программами выпуска с подетальной и предметной специализацией и 2 ПУ с возможной технологической специализацией, что позволило охватить 99% предложенной изначально номенклатуры цеха.

В результате использования предложенной методики и рекомендаций: трудоемкость проектирования уменьшилась в 1,09 раза, а затраты на проектирование снизились в 1,21 раза.

Для выбора проекта-аналога было проведено более 100 экспериментов при которых осуществлялся поиск проектов-аналогов по непрерывно изменяющимся по количеству атрибутов и их значениям запросах о желаемом проекте ПУ-аналоге. Для оценивания результатов применения подобия при поиске проектов ПУ-аналогов и использования последних при проектировании заданных ПУ изготовления деталей было сформирована группы из 5 экспертов-специалистов в области проектирования ТК уровня «Ведущий инженер проекта». Алгоритм продемонстрировал устойчивую и результативную работу. При значениях подобия номенклатурных списков $S_1=0,3\dots0,5$ и более проекты-аналоги выявлялись в 84% запросов. Средняя оценка экспертов о снижении трудоёмкости проектирования на 6,4% соответствует увеличению эффективности проектирования ПУ в 1,14 раза.

Общие выводы по диссертации

1. Существует актуальная научная задача повышения эффективности проектирования производственных участков изготовления деталей машин, имеющая важное значение для машиностроения и экономики РФ.

2. Номенклатура деталей, планирующихся для изготовления в проектируемых производственных участках, должна формироваться направленно в результате их селекции и группирования по конструктивно-технологическим признакам, проводимых на ранних этапах проектирования при использовании разработанного, программно реализованного и апробированного классификатора, позволяющего предварительно сформировать программы выпуска групп деталей и наметить состав производственных участков.

3. Разработанная классификация деталей обеспечивает их селекцию и группирование при минимальном числе классификационных признаков, опре-

деляемых лишь на основе информации, содержащейся в рабочих чертежах (CAD-моделях) деталей.

4. Классификатор позволяет не более чем за 3 итерации сгруппировать не менее 80% деталей предложенной номенклатуры. Сформированные группы можно рассматривать как номенклатуру выделенных участков с предметной специализацией, что способствует повышению эффективности проектирования до 1.3 раза.

5. Тип производства оценивается предложенной системой признаков, отражающих его масштабность, номенклатурность, переналаживаемость и предсказуемость, что позволяет обоснованно определять специализацию проектируемых производственных участков.

6. Между решениями, связанными с разработкой проектов производственных участков изготовления деталей машин, могут быть установлены формально определяемые и количественно характеризуемые отношения тождественности и подобия, выявляемые при формальном сравнении компонентов выходной и выходной информации проектов по разработанной методике, ориентированной на автоматизированную реализацию.

7. Количественные оценки подобия проектных решений применимы при поиске проектов-аналогов разрабатываемых производственных участков как на ранних этапах проектирования, так и после определения основных параметров участка.

8. На ранних этапах проектирования важнейшей является оценка подобия номенклатуры деталей сравниваемых проектов. Малое значение (0,2 и менее) указанной оценки исключает возможность использования существующего проекта в качестве аналога разрабатываемого, не исключая при этом возможности использования его отдельных фрагментов.

9. На ранних этапах проектирования поиск аналога по критериям подобия успешно реализуется на основе разработанного и апробированного алгоритма, обеспечивающего по средней экспертной оценке снижение трудоемкости проектирования на 6,4%, что соответствует росту эффективности проектирования в 1.10 раза.

10. При поиске аналогов после определения основных параметров участков и оценках подобия списков групп-типов оборудования 0,3...0,5 использование найденных аналогов, по экспертной оценке, обеспечивает снижение трудоемкости проектирования до 10,8%, что соответствует росту эффективности последнего до 1.25 раза.

11. При поиске аналогов по завершении определения параметров проектируемых участков и оценках подобия списков групп-типов оборудования 0,3...0,5 проекты-аналоги выявлялись в 96% запросов, доля действительных

аналогов в которых составляла 33...67%, среднее снижение трудоемкости проектирования составило 10,8%, что соответствует росту эффективности в 1,23 раза

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Волчкович И. Л., Галий В. В. Подобие производственных систем и классификация типов машиностроительного производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2009. Вып. 1. Часть 1. С.3-9. (0,4 п.л / 0,2 п.л)
2. Волчкович И. Л. Галий В. В. О возможности применения принципа подобия производственных систем при проектировании технологических комплексов в автотракторостроении // Автотракторостроение: Сборник докладов Международной Научно-технической конференции. Москва, 2009. С.43-48. (0,22 п.л. / 0,11 п.л.).
3. Галий В.В. Разработка технологической схемы производства на основе анализа программы выпуска предприятия/Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции. Донецк: ДонНТУ, 2011. Т.2. с.63-69. (0,15 п.л).
4. Галий В.В. Анализ программы выпуска и разработка технологической схемы производства на ранних этапах проектирования технологического комплекса / Сборник трудов международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». Севастополь. 2011. (0,1 п.л.).
5. Галий В.В. Анализ программы выпуска и разработка технологической схемы производства на ранних этапах проектирования технологического комплекса комплексов // Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник», 2012. № 11 (0,35 п.л.).
6. Galiy V.V. Production program analysis and manufacturing scheme development at the justification of investment stage / Advanced Composite Materials and Technologies for Aerospace applications. Glyndŵr University, Wales, 2012 (0,2 п.л.)
7. Кондаков А. И., Галий В.В. Использование отношений проектных решений при разработке технологических комплексов // Справочник. Инженерный журнал с приложением, 2013. № 8. С.14-17.(0,22 п.л. / 0,11 п.л.).
8. Васильев А. С., Галий В. В. Выбор планировок-аналогов при проектировании технологических комплексов изготовления деталей машин // Справочник. Инженерный журнал, 2014. №3. С.25-28. (0,3 п.л / 0,15 п.л).
9. Галий В. В. Формирование программ выпуска участков на основе группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2015. Вып. 12. Часть 1. С.60-66. (0,35 п.л)