

М467040

МИНИСТЕРСТВО ВЫШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
С С С Р

НА ПРАВАХ  
КОПИИ

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ,  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ  
УЧИЛИЩЕ ИМ. Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

УДК 621.757:658.522:658.524

Жабин Александр Иванович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ  
КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИХ СБОРКИ

(на примере металлургического оборудования)

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени доктора технических наук  
в форме научного доклада

Москва-1987

Работа выполнена в Краматорском научно-исследовательском и  
проектно-технологическом институте машиностроения  
НПО "АИИПТмаш"

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Клусов И.А.  
доктор технических наук, профессор  
Гавриш А.П.  
доктор технических наук, старший  
научный сотрудник  
Ярославцев В.М.

Ведущая организация: НПО "ДНИИТМАШ"

Защита состоится "16" декабря 1987 года в 1430 часов  
на заседании специализированного совета Д053.15.04 при  
Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции,  
ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом  
училище им.Н.Э.Баумана по адресу:

С ди  
Н.Э.

про

Авто

Учен  
Спе  
канд  
доц

М467040

а, 5.

ВТУ им.

печатю,

8 г

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1467040

Жабин А. И. Совершенствован

Б.А.Усов

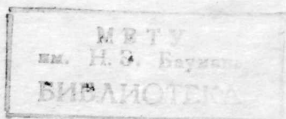
## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Высокие темпы и стратегические направления развития ведущих отраслей промышленности, намеченные в решениях XXУП съезда КПСС и "Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года", неразрывно связаны с количественным и качественным ростом тяжелого машиностроения, уникальные изделия которого определяют технический уровень их развития. Создаваемые в настоящее время машины характеризуются применением новых схем и принципов действия, высокой автоматизацией процессов, ростом скоростей, давлений, единичных мощностей, повышением точностных и эксплуатационных параметров. Поэтому возникает объективная необходимость повышения эффективности действующих и изыскание новых технологических процессов и методов их производства.

Особую актуальность приобретает решение этих вопросов в сборочном производстве, где в настоящее время еще затрачивается много ручного труда, недостаточен уровень механизации и оснащенности сборочных процессов. Сборка, являясь завершающим и наиболее сложным этапом производственного процесса, играет важную роль в обеспечении заданных качественных характеристик машин.

В структуре технологических процессов производства изделий сборка занимает значительный удельный вес (30-35%). Анализ показывает, что имеет место отставание уровня технологии сборки от других технологических процессов. Особенно это характерно для сборочных процессов в тяжелом машиностроении. Специфика сборки крупных машин в условиях единичного и мелкосерийного производства характеризуется прежде всего неотработанностью изделий на технологичность, нестабильностью размерно-точностных характеристик поступающих на сборку деталей, трудностями механизации и автоматизации сборочных процессов из-за частой смены номенклатуры изделий, малой изученностью особенностей технологии сборки и испытания машин. Это в конечном итоге приводит к значительным объемам дополнительных пригоночных и доделочных работ, снижающих эффективность сборки изделий. При этом достижение стабильного качества, т.е. обеспечение заданных размерно-точностных параметров изделия в процессе сборки при оптимальных трудовых затратах, является весьма трудной задачей, в значительной мере зависящей от субъективных факторов рабочего.

Проблема повышения качества изделий и эффективности их сборки в этих условиях становится очевидной. Она является сложной и мало изученной, носит комплексный характер, включая в себя множество взаимосвязанных факторов, которые проявляются на различных стадиях



производства изделия.

Настоящая работа посвящена решению важной народнохозяйственной проблемы - повышению качества изделий тяжелого машиностроения и эффективности их сборки на базе комплексного анализа конструктивно-технологических факторов и совершенствования методов технологического обеспечения требуемых точностных характеристик машин на всех этапах их производства. В такой постановке проблема решается впервые применительно к условиям мелкосерийного характера производства изделий.

Цель работы - повышение качества изделий тяжелого машиностроения и эффективности их сборки на основе комплексного анализа и совершенствования методов улучшения технологичности конструкций проектируемых машин и технологического обеспечения заданных точностных характеристик в процессе их изготовления при минимальных трудовых затратах.

Методика исследований. При выполнении работы применялись теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретические исследования включали синтез расчетно-аналитического и вероятностного методов определения точности технологических процессов, математическое моделирование при разработке методов проектирования сборочных процессов и расчетов сборочных размерных цепей с применением ЭВМ, математической логики и статистического анализа. При проведении экспериментальных исследований процессов использовались современные приборы и аппаратура, методы планирования экспериментов, математической обработки результатов исследований, номографирование и т.п.

#### Научная новизна.

1. Разработана методология технологического управления качеством изделий тяжелого машиностроения в процессе их проектирования и изготовления с минимальными трудовыми затратами.

2. Изучено влияние конструктивных и технологических факторов на формирование структуры сборочных процессов и разработана на этой основе методика комплексного анализа и оценки технического уровня сборочного производства.

3. Установлены закономерности и определены статистические характеристики рассеяния фактических погрешностей обработки деталей в условиях их ограниченной повторяемости с использованием метода приведенных отклонений, что позволило обосновать экономически достижимую точность обработки различных групп деталей на станках и осуществить отработку технологичности конструкций сборочных единиц на основе расчетов размерных цепей вероятностным методом.

4. Доказана необходимость расчетно-аналитического обоснования размерно-точностных значений замыкающих звеньев сборочных единиц машин, исходя из анализа их функционального назначения. Исследовано влияние погрешностей изготовления и сборки на точностные и эксплуатационные характеристики машин и предложен ряд конструктивно-технологических методов их компенсации.

5. Выявлено доминирующее влияние погрешностей формы и расположения поверхностей крупных деталей на трудоемкость пригоночных работ и возможность достижения стабильного качества изделий при сборке. По результатам исследований этих погрешностей в процессе обработки деталей и анализа трудоемкости пригоночных работ на сборке доказана путем многокритериальной оптимизации различных методов достижения заданных точностных характеристик качества изделий экономическая целесообразность и эффективность рекомендуемых технологических методов и средств повышения точности обработки деталей на станках вместо пригонки их на сборке.

6. Показано, что при отработке технологичности конструкций крупных изделий должен достигаться научно обоснованный компромисс между свойствами проектируемого объекта как средства обеспечения требуемых функциональных и эксплуатационных характеристик и его свойствами как объекта производства, способствующими его изготовлению при оптимальных трудовых затратах.

7. Изучена зависимость между размерно-геометрическими параметрами взаимного расположения соединяемых при сборке узлов и величиной потерь передаваемой мощности в приводных агрегатах крупных машин, в результате чего предложен новый метод контроля точности сборки по физическому критерию-минимуму потерь передаваемой мощности или максимальному КПД агрегата.

8. Предложены технологические методы и средства интенсификации трудоемких сборочных операций (запрессовка, притирка, балансировка и др.), обоснован выбор эффективных способов испытания, доводки и комплексного контроля качества сборки крупных узлов с зубчатым приводом.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований позволили разработать технологические методы повышения качества и эффективности сборки крупных изделий при одновременном снижении их трудоемкости на 15-20%. Разработанная и проверенная в производственных условиях методика комплексной оценки уровня сборочного производства позволяет наметить и осуществить конкретные технические мероприятия, направленные на улучшение технологичности конструкций машин, совершенствование процессов их производства, снижение трудоемких пригоноч-

ных работ на сборке, повышение уровня оснащенности и интенсификации сборочных операций, выбора эффективных методов испытания и контроля качества сборки машин. Для удобства использования в инженерной практике результаты исследований представлены в виде технологических инструкций, методик, РТМ, стандартов, номограмм и т.п. Проверка и внедрение результатов работы осуществлялись на Новокраматорском машиностроительном заводе, Ждановском, Электростальском, Славянском и Иркутском заводах тяжелого машиностроения, Старокраматорском, Южно-Уральском, Елгавском, Черемховском машиностроительных заводах и др. Суммарный экономический эффект от внедрения выполненных разработок на заводах составил около 2,0 млн.рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на 15 международных, всесоюзных, республиканских и отраслевых конференциях, семинарах и совещаниях, посвященных проблемным вопросам совершенствования технологии механосборочного производства и повышения качества изделий. Отдельные разработки экспонировались на ВДНХ СССР и УССР и были отмечены медалями и дипломами.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 84 работы, в том числе 3 монографии, 1 брошюра, 2 Государственных стандарта, 26 авторских свидетельств на изобретения.

Структура научного доклада. Работа представлена в виде научного доклада, обобщающего ранее опубликованные материалы и результаты внедрения разработок автора в производство. Доклад состоит из 64 страниц машинописного текста, 8 рисунков.

## 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сборочные процессы в машиностроении характеризуются большим разнообразием и сложностью выполняемых операций, высокой их трудоемкостью, низким уровнем механизации и автоматизации. При сборке крупных изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства приходится выполнять различного рода пригоночные и доделочные работы, которые по существу являются сопутствующими сборочному процессу. Указанные работы занимают большой удельный вес в общем объеме сборки изделий и выполняются преимущественно ручным способом. При этом на сборке концентрируются и проявляются все погрешности, возникшие на предшествующих стадиях проектирования и производства изделия. Поэтому проблема повышения качества изделий и сокращения трудоемкости их сборки требует комплексного подхода при анализе и исследовании конструктивных, технологических и организационно-технических факторов, влияющих в целом на уровень сборочного производства.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что за последние годы значительное внимание уделяется вопросам теории и практики совершенствования сборочных процессов, их механизации и автоматизации, повышения качества изделий в различных отраслях машиностроения и приборостроения в основном с массовым и крупносерийным характером производства изделий. Большой вклад в решение различных аспектов указанной научной проблемы принадлежит советским ученым: В.С.Балакину, Н.А.Бородачеву, П.И.Буловскому, А.Н.Гаврилову, А.М.Дальскому, А.И.Дашенко, П.Ф.Дунаеву, А.И.Исаеву, Н.М.Капустину, В.С.Корсакову, И.М.Колесову, И.А.Коганову, И.А.Клусову, М.П.Новикову, В.В.Павлову, Э.В.Рыжову, А.И.Федотову, Б.Ф.Федорову, а также зарубежным исследователям: М.Вайзе, Г.Варнеке, Э.Рихтеру, В.Шиллингу, С.Фишеру и др.

Однако вопросы совершенствования технологии и механизации сборки крупных изделий, повышения их качества в условиях единичного и мелкосерийного производства, имеющего свои специфические особенности, изучены недостаточно. Отсутствуют комплексные исследования факторов и научные обобщения технологических методов повышения размерно-точных характеристик крупных машин и эффективности их сборки.

Анализ литературы и практика машиностроительных заводов показывают, что наиболее широкое применение для механизации многих пригоночных и отделочных операций на сборке нашли ручные шлифовальные машины. Однако пригонка больших поверхностей крупных деталей с применением таких средств механизации является весьма трудоемкой операцией. При этом точность пригонки деталей (особенно крупногабаритных) шлифовальными машинами является невысокой и в значительной мере зависит от квалификации рабочего.

При сборке крупных механизмов с зубчатым приводом значительный объем занимает ручная пригонка (шабрение) профиля сопрягаемых зубьев с целью обеспечения требуемой величины пятна контакта в зацеплении. Эти операции наряду с большими трудовыми затратами приводят к искажению эвольвентного профиля зубьев, что отрицательно сказывается на эксплуатационной надежности зубчатых передач.

В принципе метод механизации трудоемких пригоночных работ на сборке в подавляющем большинстве случаев является малоэффективным, не обеспечивающим стабильности качества изделий. Главная его недостаток заключается в том, что он по своей сути нацелен не на изыскание рациональных способов предотвращения (или резкого сокращения) пригоночных операций, а на признание их неизбежности и разработки средств механизации, облегчающих их выполнение на сборке.

Прогрессивным направлением сокращения непроизводительных затрат времени на сборке является отработка технологичности конструкций изделий на основе расчета сборочных размерных цепей. Анализ показывает, что многочисленные неувязки в сборочном процессе машин, вызывающие пригоночные операции, возникают в основном из-за недостаточной обоснованности взаимосвязи назначаемых допусков на размеры, форму и расположение поверхностей сопрягаемых деталей с конечной точностью сборки узлов, в нечеткой регламентации точностных параметров замыкающих звеньев машин и недостаточного применения методов компенсации погрешностей на сборке.

В тяжелом машиностроении при конструировании различных изделий, как правило, не производится тщательный размерный анализ механизмов и расчет сборочных размерных цепей. Это приводит к необоснованному ужесточению допусков на детали (особенно крупногабаритные) или к отступлениям в обеспечении точностных параметров машин в процессе их производства. Мало применяются в конструкциях машин регулируемые компенсаторы погрешностей.

Для решения таких задач необходимо производить расчеты размерных цепей вероятностным методом. К числу основных причин, сдерживающих применение этого метода расчета размерных цепей в тяжелом машиностроении, следует отнести отсутствие научно обоснованных и экспериментально проверенных данных об экономически достижимой точности и фактических законах рассеяния размеров, формы и расположения поверхностей при различных видах обработки крупных и сложных деталей. Это позволило бы получить достоверные значения точности обработки деталей и статистические характеристики рассеяния их погрешностей, которые используются при расчетах размерных цепей. Такие характеристики, как известно, достаточно полно исследованы только для условий массового и крупносерийного производства. Эти вопросы имеют большое теоретическое и практическое значение в решении общей задачи улучшения размерной технологичности конструкций и повышения точности изготовления крупных машин.

В решении поставленной проблемы важную роль играет интенсификация трудоемких собственно сборочных и контрольно-испытательных операций при производстве крупных машин, в том числе: применение эффективных методов и средств при сборке сопряжений деталей с натягом; совершенствование технологии и средств механизации притирочно-доводочных операций; повышение оснащенности слесарно-сборочных работ за счет применения переналаживаемых и универсальных средств механизации; совершенствование технологии балансирования деталей, сборки многоузловых агрегатов в машинах; доводки и испытания под нагрузкой крупных

узлов с зубчатым приводом; обоснование выбора рациональных форм организации и технологической подготовки сборочного производства.

Анализ показывает, что эти вопросы для условий единичного и мелкосерийного производства недостаточно изучены и освещены в литературе, отсутствуют научно обоснованные методы их эффективного решения.

На основе изложенного можно сформулировать следующие основные задачи настоящей работы:

1. Исследование закономерностей влияния комплекса конструктивных, технологических и организационно-технических факторов на формирование структуры сборочных процессов и качество изделий. Разработка методики анализа и оценки технического уровня сборочного производства с учетом указанных факторов.

2. Совершенствование отработки размерной технологичности конструкций изделий на основе расчетов сборочных размерных цепей вероятностным методом (с применением ЭВМ) с обоснованием методики определения статистических характеристик рассеяния погрешностей обработки деталей в условиях их ограниченной повторяемости. Установление экономически достижимой точности обработки различных групп крупных деталей по результатам экспериментально-статистических исследований.

3. Расчетно-аналитическое обоснование размерно-точностных значений замыкающих звеньев с учетом функционального назначения машин. Анализ методов достижения заданной точности на сборке и разработка рациональных способов компенсации погрешностей в размерных цепях машин взамен пригонки.

4. Изучение влияния погрешностей обработки и сборки на функциональные и эксплуатационные характеристики машин. Разработка технологических методов повышения качества изготовления машин.

5. Исследование зависимостей и установление факторов, оказывающих доминирующее влияние на общий баланс погрешностей обработки крупных и сложных деталей и разработка технологических методов и средств достижения требуемых точностных характеристик качества изготовления изделий при оптимальных трудовых затратах.

6. Разработка и исследование методов и средств интенсификации трудоемких процессов сборки многоузловых агрегатов машин, сопряжений деталей с натягом, притирочно-доводочных операций, балансирования деталей, контроля качества и испытания под нагрузкой крупных узлов и агрегатов с зубчатым приводом.

7. Совершенствование технологической подготовки и организации сборочного производства на основе типовой технологии и применения автоматизированных систем проектирования процессов сборки с применением ЭВМ.

8. Разработка методологических основ комплексного управления качеством изделий тяжелого машиностроения и эффективностью их сборки в процессе проектирования и изготовления с минимальными трудовыми затратами.

9. Внедрение в производство полученных результатов работы.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

На основе анализа и экспериментально-статистических исследований сборочных процессов различного оборудования установлена сложившаяся структура и определены основные виды сборочных работ: слесарно-вспомогательные, слесарно-доделочные, пригоночные, собственно-сборочные, испытательные, балансировочные, демонтажные и консервационно-упаковочные, а также соответствующие им виды технологических операций. Это дало возможность сгруппировать операции, однородные по технологическим методам, приемам и средствам их осуществления в основные виды технологических работ, выполняемых на сборке. Следовательно, под видом работ подразумевается совокупность однородных технологических операций (например, доводочных, сверлильных, регулировочных и т.п.), решаемых в процессе сборки. Наличие указанных видов работ и операций в структуре сборочного процесса, а также их трудоемкость обусловлены влиянием комплекса объективных взаимосвязанных конструктивных, технологических и организационно-технических факторов, характерных для условий единичного и мелкосерийного производства крупных машин. Изучена взаимосвязь этих факторов и степень влияния их на структуру сборочного процесса.

На основе теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязи факторов разработана система показателей и методика оценки технического уровня сборочного производства, позволяющая не только получить объективную характеристику состояния сборки изделий, но также на основе количественной оценки значимости показателей наметить мероприятия по совершенствованию технологии и организации сборки.

Под техническим уровнем сборочного производства понимают его состояние, характеризующееся уровнем технологического процесса сборки, организации производства и технологической подготовки сборочного производства. Наиболее важным и трудным является определение уровня технологического процесса сборки, под которым понимают совокупность его свойств, характеризующих прогрессивность и экономичность принятых технологических методов и средств, обеспечивающих заданные технические требования на сборку изделий. К числу таких свойств могут быть отнесены: структура сборочного процесса, прогрессивность оборудования, степень механизации и экономичность сборки.

В число структурных показателей сборочного процесса включен коэффициент собираемости изделия, являющийся одной из важнейших обобщающих характеристик уровня сборочного производства. Под собираемостью изделия понимают совокупность свойств конструкции, технологического процесса изготовления и организации сборочного производства, обеспечивающих достижение заданного качества сборки изделия при наименьших материальных и трудовых затратах.

Составляющие элементы уровня сборочного производства оцениваются системой частных показателей, определяемых в виде приведенных коэффициентов. Общие показатели элементов уровня определяются путем суммирования значений его частных показателей с учетом соответствующих коэффициентов их значимости, т.е. степени влияния на показатель в целом.

Общий показатель уровня технологического процесса сборки

$$U_{tex} = \xi_{сб}(1 - K_{сб}) + \xi_{соб} \cdot K_{соб} + \xi_{мех} \cdot K_{мех} + \xi_{пр} \cdot K_{пр} + \xi_{себ}(1 - K_{себ}),$$

где  $K_{сб}$  - коэффициент удельной трудоемкости сборки в общих трудозатратах на изделие;  $K_{соб}$  - коэффициент собираемости изделия (отношение трудоемкости собственно сборочных работ к общей трудоемкости сборки с учетом пригоночных, доделочных и вспомогательных работ);  $K_{мех}$  - степень механизации процесса сборки;  $K_{пр}$  - коэффициент прогрессивности применяемого оборудования;  $K_{себ}$  - удельная технологическая себестоимость I часа сборки относительно себестоимости I часа изготовления изделия;  $\xi_{сб}$ ,  $\xi_{соб}$ ,  $\xi_{мех}$ ,  $\xi_{пр}$ ,  $\xi_{себ}$  - коэффициенты значимости соответствующих частных показателей уровня процесса сборки.

Общий показатель уровня организации сборочного производства

$$U_{орг} = \xi_{расч} \cdot K_{расч} + \xi_{спец} \cdot K_{спец} + \xi_{ритм} \cdot K_{ритм},$$

где  $K_{расч}$  - коэффициент расчлененности сборки, характеризуемый отношением трудоемкости узловой сборки к трудоемкости общей сборки изделия;  $K_{спец}$  - коэффициент специализации рабочих мест (отношение количества специализированных рабочих мест сборщиков, оборудованных сборочными стендами, приспособлениями, механизированным инструментом и др. к общему количеству рабочих мест);  $K_{ритм}$  - ритмичность сборки изделий;  $\xi_{расч}$ ,  $\xi_{спец}$ ,  $\xi_{ритм}$  - коэффициенты значимости соответствующих показателей уровня организации сборочного производства.

Общий показатель уровня технологической подготовки сборочного производства

$$U_{под} = \xi_{тип} \cdot K_{тип} + \xi_{авм} \cdot K_{авм} + \xi_{н} \cdot K_{н},$$

где  $K_{тип}$  - коэффициент типизации сборочных процессов;  $K_{авм}$  - коэффициент автоматизации проектирования процессов сборки;  $K_{н}$  - коэффициент

циент технического нормирования;  $\xi_{гил}$ ,  $\xi_{зам}$ ,  $\xi_n$  — коэффициенты значимости соответствующих показателей уровня.

Комплексный (обобщающий) показатель технического уровня сборочного производства

$$У_{сб} = \xi_{тех} \cdot У_{тех} + \xi_{орг} \cdot У_{орг} + \xi_{под} \cdot У_{под},$$

где  $\xi_{тех}$ ,  $\xi_{орг}$ ,  $\xi_{под}$  — соответственно коэффициенты значимости общих показателей уровня технологии, организации и технологической подготовки производства. Коэффициенты значимости показателей уровня устанавливаются экспертным путем и уточняются по мере накопления опытно-статистических данных. Например, для тяжелого машиностроения приняты  $\xi_{тех} = 0,55$ ;  $\xi_{орг} = 0,30$ ;  $\xi_{под} = 0,15$ .

Для практических целей предложены специальные карты технического уровня сборочного производства изделий, разработаны блок-схема алгоритма и программа автоматизированного расчета показателей уровня с помощью ЭВМ.

### 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТОВ СБОРОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Технологичность сборочных единиц означает обеспечение требований к составу сборочных единиц; конструкции соединений составных частей; точности и методу сборки.

Анализ технологичности изделий тяжелого машиностроения показал, что наиболее часто в конструкциях сборочных единиц не обеспечивается третья группа требований технологичности — к точности и методу сборки, т.е. точность расположения составных частей не всегда обоснована и взаимосвязана с точностью изготовления деталей, а метод сборки не подтвержден расчетом сборочных размерных цепей.

Размерный анализ взаимосвязей между сопрягаемыми поверхностями деталей при сборке и оценка технологических возможностей их достижения в производственных условиях, расчет и оптимальная компоновка многозвенных размерных цепей с дифференцированной точностью изготовления деталей, имеющих различную технологичность, обеспечивают достижение на сборке заданных размерно-точностных характеристик изделия при минимальных затратах труда. Указанный этап работ можно назвать обеспечением размерной технологичности конструкций сборочных единиц, который является наиболее сложным и недостаточно отработанным в решении общей задачи повышения технологичности крупных изделий.

Для совершенствования обработки размерной технологичности конструкций изделий тяжелого машиностроения необходимо было решить следующие вопросы:

1. Разработать и апробировать методику определения статистических характеристик рассеяния погрешностей и экономически достижимой точности при обработке деталей в условиях их ограниченной повторяемости.

2. На основе размерного анализа сборочных единиц обосновать расчетным путем значения замыкающих звеньев размерных цепей во взаимосвязи с техническими требованиями на их изготовление.

3. Выполнить расчеты сборочных размерных цепей различных машин вероятностным методом с использованием полученных характеристик рассеяния составляющих звеньев цепи и обосновать рациональные методы сборки, обеспечивающие достижение требуемой точности на замыкающем звене при минимальных затратах.

4. Исследовать влияние погрешностей изготовления и сборки машин на их функциональные параметры.

Ниже изложены основные результаты проведенных исследований по указанным вопросам.

Методика определения статистических характеристик рассеяния погрешностей с использованием приведенных отклонений. Предложена методика определения статистических характеристик рассеяния погрешностей и экономически достижимой точности при различных видах обработки по методу пробных проходов для однородных по конструктивно-технологическим признакам классов деталей. Это позволило увеличить количество измерений подобных деталей и построить по этим данным статистические кривые рассеяния действительных погрешностей обработки. В основу классификации деталей положены признаки, используемые при разработке групповой технологии. Объединение деталей в такие классы не нарушает принципа однородности влияния случайных факторов при статистических исследованиях точности обработки, так как рассматриваемые детали в пределах каждого класса характеризуются конструктивным подобием, а также общностью технологических особенностей их обработки (установки, выверки и закрепления деталей, применяемого оборудования и оснащения, методов обработки, средств контроля и т.п.). Достоверность подобного объединения оценивалась на основе известного в математической статистике метода проверки нулевых гипотез.

В пределах каждого класса деталей имеется определенный диапазон однородных измеряемых параметров, допускаемые и фактические отклонения которых изменяются с увеличением их номинальных размеров. Поэтому при математической обработке результатов наблюдений и построении кривых распределения погрешностей измеренные отклонения необходимо было привести к единым соизмеримым величинам, т.е. единому масштабу. Для этого было использовано приведенное отклонение, представляющее

собой отношение фактического отклонения размера детали к заданному по чертежу или ТУ. Расчет приведенных отклонений при обработке отверстий производится по формуле

$$E_{\text{пр}i} = \frac{E_{\text{д}i} - E_{\text{н}i}}{T_{\text{д}i}},$$

где  $E_{\text{д}i}$ ,  $E_{\text{н}i}$  — соответственно действительное (измеренное) и нижнее допускаемое отклонения размера отверстия  $i$ -той детали;  $T_{\text{д}i}$  — допуск на размер отверстия  $i$ -той детали. Аналогично определялись приведенные отклонения для валов, погрешностей формы и расположения поверхностей деталей.

На основе математической обработки полученных таким путем рас- пределений погрешностей определялись статистические характеристики их рассеяния и границы доверительных интервалов. Результаты исследова- ний положены в основу разработанных ГОСТ 16.306-74, ГОСТ 19415-74.

В результате технологического анализа результатов эксперимен- тально-статистических исследований установлена экономически достижи- мая точность обработки различных групп деталей. Использование полу- ченных данных при расчетах сборочных размерных цепей вероятностным методом позволило оценить размерную технологичность изделий во взаи- мосвязи с действительной точностью изготовления деталей и обосновать рациональные методы их сборки.

Размерный анализ и расчет сборочных размерных цепей изделий. Раз- мерный анализ сборочных единиц с поверочно-технологическим расчетом сборочных размерных цепей производится параллельно с разработкой технологического процесса сборки с целью окончательной проверки воз- можности достижения заданной точности замыкающих звеньев размерных цепей. Важным этапом в решении этой задачи является проверка и рас- четное обоснование значения замыкающего звена во взаимосвязи с соот- ветствующим функциональным параметром изделия по ТУ. Практика тяже- лого машиностроения показывает, что эти вопросы отработаны недоста- точно. Например, значения перекосов рабочих валков относительно опор- ных, возникающих в процессе сборки рабочих клеток прокатных станов, должны устанавливаться (как замыкающее звено) с учетом допустимых величин разнотолщинности прокатываемого листа, регламентируемых соот- ветствующими стандартами. Были проведены расчеты влияния возникающих при сборке перекосов валков в станах кварто на точность прокатки и характер взаимодействия валков под нагрузкой в процессе работы, в результате которых определена возникающая дополнительная поперечная разнотолщинность проката, которая в значительной мере зависит от угла перекоса валков.

Как показали расчеты размерных цепей, значение перекосов валков на сборке при заданной конструктором точности составляющих звеньев

достигают 0,20-0,25 мм на длине валка, что в 1,5-2 раза превышает допускаемые отклонения поперечной разнотолщинности для холоднокатаных листов по ТУ. Поэтому при обосновании технических условий на сборку рабочих клетей листовых станов необходимо регламентировать допускаемые значения на перекося валков и другие точностные параметры с учетом указанных факторов.

Известно, что основным точностным параметром для тяжело нагруженных зубчатых передач является суммарная величина пятна контакта сопрягаемых поверхностей зубьев. Однако пятно контакта не дает полного представления о степени жесткости требований к точности сборки и является в основном качественным показателем. Поэтому для отработки размерной технологичности зубчатых передач предложено в качестве замыкающего звена сборочной размерной цепи принимать клин неприлегания сопряженных зубьев передачи, соответствующий требуемому пятну контакта. Клин неприлегания зубьев цилиндрической передачи, определяемый углом  $\psi = \varepsilon/B$  между линиями пересечения поверхностей зубьев и плоскостью зацепления, характеризует точность относительного расположения зубьев сопрягаемых колес ( $\varepsilon$  - зазор неприлегания зубьев;  $B$  - длина зуба). Учитывая, что  $\varepsilon = \frac{\tau}{Q} \cdot 100\%$ , угол неприлегания можно выразить численным значением  $\psi = \frac{\tau}{QB} \cdot 100\%$ , где  $\tau$  - толщина слоя краски при определении пятна контакта;  $Q$  - суммарное пятно контакта по длине зуба согласно ГОСТ 1643-81. Из полученной зависимости следует, что в пределах одной степени точности допустимый угол неприлегания зубьев имеет гиперболическую зависимость от ширины колеса. Например, полученная зависимость  $\psi = f(B)$  для 7-й степени точности при  $\tau = 5$  мкм, показывает, что требования к точности сборки зацеплений в 5-6 раз ужесточаются с увеличением ширины колеса в диапазоне 100-700 мм.

В процессе размерного анализа и расчетов сборочных размерных цепей вероятностным методом установлены основные размерные параметры, оказывающие доминирующее влияние на точность сборки узлов с зубчатым приводом, и технологические возможности достижения заданной точности замыкающего звена. К числу таких параметров относятся погрешности расположения осей отверстий для подшипников валов в корпусе, а также погрешности направления зубьев при обработке колес. На основе проведенных экспериментальных исследований предложены методы обработки и средства контроля, обеспечивающие повышение точности изготовления корпусов и зубчатых колес по указанным параметрам.

Однако и при этих условиях добиться при изготовлении крупных зубчатых зацеплений требуемой точности замыкающего звена методом вза-

имозаменяемости при экономически достижимых пределах точности обработки невозможно. Поэтому предложен и исследован эффективный метод комбинированной доводки зубчатых зацеплений в сборе, который рассмотрен в соответствующем разделе настоящей работы.

Разработана и опробована методика оценки качества сборки редукторов по результатам измерения их кинематической погрешности, в основу которой положен анализ спектра зафиксированной кинематической погрешности изготовленного редуктора, позволяющего выявить составляющие погрешности звеньев редуктора (радиальное биение валов и зубчатых колес, погрешности профиля зубьев, сборки подшипников и др.), которые существенно влияют на общий баланс погрешностей его сборки. Это дает возможность осуществить необходимые технологические меры, направленные на уменьшение выявленных погрешностей в процессе изготовления редукторов.

В целом проведенная отработка размерной технологичности конструкций различных сборочных единиц и изделий тяжелого машиностроения на основе расчетов сборочных размерных цепей с учетом технологического анализа достижимой точности обработки деталей, выбора рациональных способов компенсации погрешностей позволила обосновать наиболее эффективные методы обеспечения требуемой точности на сборке при минимальных объемах пригоночно-доводочных работ.

Исследование влияния погрешностей изготовления и сборки машин на их эксплуатационные и функциональные параметры. Отработка размерной технологичности изделий на основе расчетов сборочных размерных цепей позволяет не только снизить трудоемкость их изготовления за счет рационального распределения допусков составляющих звеньев, но и оптимизировать размерно-точностные характеристики с учетом влияния их на эксплуатационные и функциональные параметры.

Особую актуальность приобретают вопросы оптимизации точности при изготовлении крупных машин, где возникают большие силы и крутящие моменты и, как следствие, напряжения и деформации в деталях, работающих в динамическом режиме. В металлургическом машиностроении много изготавливается узлов и механизмов с валами на опорах скольжения. При сборке таких узлов весьма распространенным видом погрешностей являются отклонения от соосности отверстий подшипников и их перекося. В результате расчетов действующих сил на вал со смещенными опорами скольжения установлено, что к моменту, определяемому массой вращающихся деталей  $M_0 = 0,5G\mu d$ , добавляется момент холостого хода  $M_x = \mu d_1 C (f - \kappa \delta) \varphi$ , где  $\mu$  и  $\varphi$  — коэффициенты, учитывающие конструктивные параметры;  $C$  — жесткость вала ( $C = EJ/l^3$ );

$G$  - внешняя сила, действующая на вал;  $\mu$  - коэффициент трения;  $d$  и  $d_1$  - диаметры соответственно вала и его шеек;  $E$  - модуль упругости;  $J$  - момент инерции сечения вала;  $l$  - расстояние между опорами;  $\delta$  - зазор в подшипнике;  $f$  - отклонение от соосности и перекося отверстий подшипников. Эти зависимости верны при  $f \geq \kappa \delta$ , когда прогиб вала равен смещению оси подшипников  $f$ , что часто бывает на практике. При этом резко вырастают действующие силы реакций в опорах. Во избежание вредного воздействия зазоры должны соответствовать заданной точности на отклонения от соосности и перекося отверстий подшипников.

Автоматизация размерных расчетов. Для отработки размерной технологичности изделий на основе расчетов сборочных размерных цепей вероятностным методом (особенно многозвенных) весьма эффективно применение ЭВМ, что позволяет с минимальными затратами времени осуществлять многовариантность расчетов в поисках выбора оптимального варианта компоновки составляющих звеньев цепи. При алгоритмизации поставленной задачи в качестве рабочей гипотезы положены следующие соображения. Достижение требуемой точности замыкающего звена должно обеспечиваться при экономически достижимых пределах точности составляющих звеньев. Поэтому необходимо прежде всего опробовать метод полной взаимозаменяемости, затем (в случае жестких допусков) - метод неполной взаимозаменяемости, если же допуски составляющих звеньев и после этого оказываются трудно достижимыми, точность замыкающего звена обеспечивается методом регулирования или пригонки. С учетом этих логических соображений составлен алгоритм и программа решения линейных размерных цепей на ЭВМ.

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

В результате проведенных исследований выявлены закономерности и изучены технологические факторы, оказывающие доминирующее влияние на суммарную погрешность при различных видах обработки крупных, сложных и высокоточных деталей, обоснованы возможности достижения заданных точностных характеристик сборочных единиц при оптимальных трудовых затратах.

Существенное влияние на точность расположения поверхностей оказывают погрешности установки, выверки и закрепления крупных деталей на станках. Обычно выверка деталей при чистовой обработке производится по обработанным поверхностям (выверочным базам) с помощью индикаторов часового типа. Необходимые при выверке перемещения детали в вертикальной плоскости производится путем подъема детали мостовым краном и установки соответствующих мерных прокладок, в горизонтальной плоскости - с помощью винтовых распорок. Исследования показали, что

фактические погрешности установки и выверки крупных деталей (массой до 100т) в этих случаях составляют 45-50% общей погрешности обработки деталей. Отсутствие высокочувствительных и удобных в эксплуатации средств осуществления точных выверочных перемещений детали на станке является главной причиной низкой точности выверки.

Для повышения точности и ускорения процесса выверки крупных деталей предложена и исследована конструкция высокочувствительных гидравлических опор. Разработанные с использованием таких опор столы позволили дистанционно управлять процессом выверки и обеспечить ее точность до 0,02 мм. Для выверки деталей массой от 5 до 40 т рекомендованы домкраты и распорки с механогидравлическим приводом (точность установки 0,03-0,05 мм). Исследовано также влияние геометрических погрешностей уникальных станков на точность расположения поверхностей обрабатываемых деталей и даны рекомендации по их сокращению.

Большие трудности в обеспечении высоких требований к точности формы отверстий (овальность и конусообразность - не более 0,06-0,1мм) и расположения поверхностей (отклонение от параллельности плоскостей и оси центрального отверстия - не более 0,06 мм) вызывает обработка на уникальных станках подушек опорных и рабочих валков прокатных станов, имеющих сложную конфигурацию, большие габариты и массу. Как показали экспериментальные исследования, существенное влияние на точность таких деталей оказывает коробление их поверхностей в результате релаксации внутренних напряжений после черновой и чистовой их обработки. При этом установлено, что на величину возникающих деформаций деталей, имеющих наследственный характер, существенно влияет величина назначаемых припусков на центральное отверстие и направляющие плоскости и последовательность их обработки. Экспериментально доказано, что минимальные погрешности формы центрального отверстия достигаются при соотношении припусков на направляющие плоскости и отверстие подушек в соотношении 4/3. При этом на чистовых операциях сначала необходимо обработать направляющие плоскости, а затем отверстие, используя на этих операциях общую базу - торец отверстия подушки. По результатам исследований разработаны и внедрены на НКМЗ групповые технологические процессы обработки подушек, обеспечивающие требуемые точностные характеристики.

Эффективным методом повышения точности расположения поверхностей при обработке корпусных деталей является применение приспособлений - спутников, обеспечивающих стабильность их базирования в процессе всей обработки на станках. Разработана методика расчета погрешностей обрабатываемых в спутниках деталей, а также рациональные методы базирования и закрепления крупных деталей в спутниках. Результаты иссле-

дований положены в основу при создании гибких автоматизированных линий для обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ, связанных технологической транспортной системой с приспособлениями-спутниками.

Исследование температурных погрешностей обработки крупных деталей. Значительный удельный вес в общем балансе точности обработки крупных деталей имеют погрешности, связанные с температурными деформациями. Сопрягаемые поверхности деталей обрабатываются в различных условиях и контроль их точности может осуществляться при различной температуре нагрева. Практика показывает, что различие этих температур на 5-8°C и более приводит к фактическим отклонениям размеров сопрягаемых поверхностей крупных деталей, соизмеримым с величинами допусков на их размеры по 7-8 качеству. Традиционный метод измерения детали на станке после остывания при заданной температуре окружающей среды не всегда может быть приемлем на практике, если учесть необходимость интенсификации процессов обработки деталей на станках.

Из формулы для определения величины тепловой деформации по диаметру  $\Delta D = \alpha D \Delta t$ , где  $\Delta t = Q/cm$ , видно, что  $\Delta D$  будет большим для тех деталей, которые получают большее количество тепла в процессе их обработки и имеют сравнительно меньшую массу  $m$  при одинаковых для различных деталей коэффициентах линейного расширения  $\alpha$  и удельных теплоемкостях  $C$ . Степень нагрева детали прямо пропорциональна количеству металла, который снимается в процессе обработки, или работе, затрачиваемой на сьем металла. Время, затрачиваемое на обработку больших поверхностей крупных деталей, измеряется часами и даже десятками часов. Поэтому при такой длительности обработки вся масса существенным становится количество тепла, передаваемого деталью в окружающую среду. С учетом указанных предпосылок к числу характерных групп деталей, у которых возникают значительные тепловые деформации отнесены: втулки и кольца с наружным диаметром до 2000 мм и с отношением его к внутреннему диаметру от 1,1 до 1,4, а к длине детали от 0,3 до 2,5; корпусные детали с одним центральным отверстием диаметром до 2000 мм при высоте до 2000 мм, ширине и длине до 4000 мм (корпуса подшипников, бокс, подушки прокатных станков и т.п.).

В результате анализа общей зависимости тепловых деформаций для различных условий обработки деталей от всех переменных факторов получена упрощенная зависимость тепловых деформаций ( $\Delta D$ ), учитывающая технологические особенности обработки крупных деталей типа втулок.

$$\Delta D = \Delta D_H K_0 + 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{d^{1,48} \cdot t_p^{0,95}}{D^{1,48} \cdot S^{0,25}},$$

05079461

где  $\Delta D_H$  - тепловая деформация детали от ее предварительного нагрева перед началом нового прохода (при многопроходной обработке);

$$K_0 = \exp \left[ -92 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(d/D)^{1,8} \cdot V_p^{0,36}}{D^{1,25}} \right] - \text{коэффициент, учиты-}$$

вающий охлаждение детали;  $D$  и  $d$  - соответственно наружной и внутренней диаметры втулок, мм;  $t_p$  - глубина резания, мм;  $S$  - подача, мм/об;  $V_p$  - скорость резания, м/мин. Если начальная температура детали равна температуре окружающей среды и деталь обрабатывается за один проход, то  $\Delta D_H = 0$ .

Значимость каждого из переменных факторов в этих формулах, а также величины постоянного коэффициента и показателей степеней уточнены на основе проведения статистических экспериментов методом построения и реализации многофакторного плана.

Аналогичные зависимости температурных деформаций получены для обработки крупных высокоточных корпусных деталей (подушки прокатных станков и др.) и построены номограммы для их определения. Эти поправки необходимо учитывать в процессе измерения обрабатываемых деталей или вносить соответствующие корректировки в программу при обработке деталей на станках с ЧПУ.

Результаты исследований точности обработки различных крупных и сложных деталей и анализ трудоемкости пригоночных работ на сборке позволили осуществить многокритериальную оптимизацию различных методов достижения заданных точностных характеристик качества изделий по минимуму технологической себестоимости с использованием компромиссных множеств Парето.

Обработка данных проводилась на основе уравнений многокритериальной оптимизации вида

$$\sum_{i=1}^m N_{mi} \cdot C_{mi} + \sum_{j=1}^n N_{nj} \cdot C_{nj} = \alpha_m \cdot C_m + \alpha_n \cdot C_n + \alpha_k C_k \rightarrow \min_{\alpha_1, \dots, \alpha_k}$$

где  $m$  - число деталей в собираемой машине;  $n$  - число общих и узловых сборок;  $k$  - число критериев оптимизации;  $N_{mi}, N_{nj}$  - соответственно количество деталей  $i$ -го наименования, подлежащих механообработке и собираемых узлов  $j$ -го наименования, подвергаемых пригоночно-доводочным операциям;  $C_m, C_n$  - соответственно общая технологическая себестоимость механообработки и пригоночно-доводочных работ по базовому варианту;  $C_k$  - суммарная технологическая себестоимость механообработки и пригоночно-доводочных работ;  $C_{mi}, C_{nj}$  - технологическая себестоимость соответственно  $i$ -го наименования детали при механообработке и  $j$ -го узла при сборке;  $\alpha_k, \alpha_m, \alpha_n$  - соответственно коэффициенты уровня общих затрат, а также затрат на механообработку

и пригоночно-доводочные работы относительно базового технологического процесса.

Полученные результаты оптимизации по различным изделиям тяжелого машиностроения подтвердили экономическую целесообразность и эффективность рекомендуемых технологических методов и средств повышения точности обработки деталей на станках взамен пригонки на сборке. При этом создаются объективные условия для обеспечения стабильного качества изделий в процессе их производства.

#### 5. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ, ДОВОДКИ И ИСПЫТАНИЯ МАШИН

В изделиях тяжелого машиностроения широкое применение находят крупные многоузловые приводные агрегаты, включающие мощные электрические двигатели, которые соединяются с рабочим органом через ряд промежуточных механизмов и узлов – редукторов, коробок передач, муфт и т.п. В процессе эксплуатации под воздействием больших нагрузок может нарушаться достигнутое в процессе сборки (в статике) заданное взаимное расположение деталей вследствие их собственных деформаций, включая и контактные деформации в стыках. Назначение оптимальных точностных параметров в этих случаях должно служить средством обеспечения заданного функционального назначения машин, надежной и долговечной работы ее в целом. В качестве критерия, учитывающего эти факторы, целесообразно выбирать условие минимума потерь мощности или условие максимального КПД машины. На основе этих предпосылок разработан и исследован новый метод контроля сборки многоузловых агрегатов, основанный на отказе от обычной сборки по размерно-геометрическим допускам и переходу к физическому критерию – минимуму потерь мощности.

Экспериментальные исследования нового метода проводились путем изменения исходного положения узлов привода (электродвигатель, редуктор, пальцевые муфты) с помощью винтовых устройств, создавая при этом смещения осей и угловой перекося сопрягаемых деталей. В каждом из положений создавали нагружение привода крутящим моментом с помощью ферропрошкового тормоза ТП-1000, регистрировали на осциллограммах силу тока, напряжение и мощность и находили такое положение, при котором передаваемая мощность имеет минимум. Мощность является функцией четырех переменных: двух смещений  $U_1$ ,  $U_2$  вдоль осей, перпендикулярных оси соединяемых валов, и двух углов поворота относительно этих осей  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ .

По результатам однофакторного эксперимента получены кривые зависимости передаваемой мощности  $J = \Delta N / N$ , где  $\Delta N = N - N_0$  – повышение мощности  $N$  над минимальной ее величиной  $N_0$ , от изменений

$U_1$  (при постоянных величинах  $U_2$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ). Анализ таких кривых показывает, что они очень близки к параболам и положение экстремума при изменении мощностей в диапазоне 0,5–1,0 от ее номинальной величины незначительно зависит от нагрузки.

В качестве основного метода определения экстремума функции

$J(U_1, U_2, \sigma_1, \sigma_2)$  было принято оптимальное планирование эксперимента. Введены безразмерные переменные ( $x_1 = U_1/U_{10}$ ,  $x_2 = U_2/U_{20}$ ,  $x_3 = \sigma_1/\sigma_{10}$ ,  $x_4 = \sigma_2/\sigma_{20}$ ) и уровни их варьирования. В процессе исследований был применен центральный композиционный план эксперимента и поставлен полный факторный эксперимент ( $2^4 = 16$ ). На основе экспериментов получено уравнение регрессии

$$J = -0,5 - 1,9x_1 - 3,4x_2 - 7x_3 - 7,5x_4 - 2x_1x_2 - 0,5x_1x_3 - 1,5x_1x_4 - 2,1x_2x_3 + 0,9x_2x_4 - x_3x_4 + 1,6x_1^2 + 2x_2^2 + 4x_3^2 + 6x_4^2.$$

Из уравнения следует, что при  $x_1 = 2,41$ ,  $x_2 = 2,66$ ,  $x_3 = 1,53$ ,  $x_4 = 0,85$  имеет место экстремум, при котором величина  $J$  равна  $J_0 = -0,16$ , т.е. по сравнению с исходной позицией обеспечивается уменьшение потерь мощности на 16%. Многократные эксперименты показали возможность за счет применения нового метода контроля сборки уменьшить потери передаваемой мощности и повысить КПД на 12–18%.

Интенсификация методов сборки соединений деталей с натягом. Значительное распространение в машиностроении получила сборка соединений с натягом при помощи глубокого охлаждения, обеспечивающая высокую их прочность и экономичность процесса. В качестве хладагента чаще всего используют жидкий азот ( $-196^\circ\text{C}$ ). Обычно в производственных условиях принято считать критерием необходимого охлаждения деталей момент прекращения кипения жидкого азота, т.е. когда охлаждаемая деталь приобретает температуру, близкую к температуре хладагента. Как показали расчеты, требуемая температура охлаждения детали должна рассматриваться как функция не только геометрических параметров соединения с натягом, но и времени, необходимого на осуществление процесса сборки (транспортирование охлажденной детали к сборочной позиции, ориентирование, собственно сборка), в течение которого происходит изменение температуры и величины температурного сжатия детали. В результате проведенных экспериментальных исследований и расчетов с учетом указанных факторов получена формула для определения оптимальной температуры охлаждения детали

$$T_{\text{охл}} = \frac{T_{\text{сб}} - 16,82 \frac{t}{K} + 0,225 T_{\text{сб}} \frac{t}{K}}{1 + 0,004 T_{\text{сб}} \frac{t}{K} - 0,225 \frac{t}{K}},$$

где  $T_{сб}$  - температура детали в момент окончания процесса сборки, °C;  
 $t$  - время выполнения сборочной операции, мин;  $K$  - критерий подобия, учитывающий баланс теплоемкости и теплоотдачи конкретной собираемой детали, г/см<sup>2</sup>.

Как известно,  $T_{сб}$  определяется из условия обеспечения минимально необходимого зазора в сопряжении в момент окончания сборки и зависит от величины натяга, диаметра соединения и коэффициента линейного сжатия охлаждаемой детали. Критерий подобия (для деталей типа втулок) рассчитывается по формуле

$$K = \gamma \ell / 2 \left( \frac{\ell}{\delta} + 1 \right),$$

где  $\gamma$  - плотность материала втулки, г/см<sup>3</sup>;  $\ell$  - длина втулки, см;  
 $\delta$  - толщина стенки втулки, см.

В результате теплотехнических расчетов получена зависимость продолжительности охлаждения детали ( $T_{охл}$ ), обеспечивающая оптимальную температуру ( $T_{охл}$ ) ее охлаждения

$$T_{охл} = \frac{C \gamma \ell (20 - T_{охл})}{2 \alpha_1 (20 - T_x)},$$

где  $C$  - теплоемкость материала втулки, ккал/кг °C;  $\delta$  - толщина стенки втулки, м;  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи, ккал/м<sup>2</sup>. час °C;  $T_x$  - температура жидкого хладагента, °C.

На основе полученных зависимостей разработана номограмма, позволяющая быстро определять продолжительность выдержки в жидком азоте втулок (бронзовых и стальных) для различных посадок с натягом. Применение указанного метода на практике позволило ускорить процесс запрессовки втулок и сократить при этом расход жидкого азота на 20 - 30%.

Проведены также исследования и разработаны рекомендации по совершенствованию технологии сборки соединений с натягом методом нагрева охватываемой детали. Предложены методы компенсации погрешностей, возникающих при тепловой посадке на валы крупных зубчатых колес и дисков.

В целом анализ технологии сборки соединений с натягом показал, что рациональные методы их осуществления и средства механизации должны выбираться с учетом габаритов, массы, материала и конструктивных особенностей сопрягаемых деталей, характера производства, его технических возможностей.

С учетом этих особенностей разработаны РТМ "Методы выполнения прессовых сопряжений деталей и универсальные средства их механизации", позволяющие технологам назначать эффективные методы сборки сопряжений деталей с натягом.

Исследование процесса комбинированной доводки зубчатых зацеплений. Эффективным методом доводки является притирка зубьев собранного

в корпусе редуктора с помощью взвешенного в масле абразивного порошка. С целью интенсификации процесса предложен способ комбинированной притирки зубьев колес. Сущность его заключается в том, что одновременно со взаимной притиркой под нагрузкой зубьев колес передачи в корпусе редуктора, одно из колес пары притирают зубчатым притиром, который вводят в зацепления с притираемым колесом и ориентируют с учетом фактической величины и расположения суммарного пятна контакта в зацеплении парных колес. Притиру сообщают возвратно-поступательное движение вдоль оси зубчатого колеса. Зубья притира прижимаются к зубьям притираемого колеса с помощью нагрузжателя. В процессе экспериментальных исследований за параметр оптимизации принималась производительность процесса, характеризуемая величиной съема металла с боковой поверхности зуба за единицу времени. После обработки результатов полного факторного эксперимента было получено уравнение регрессии, анализ которого показал, что производительность комбинированной притирки определяется в основном частотой вращения притираемого колеса и числом двойных ходов притира за единицу времени. Производительность доводки уменьшается при увеличении нагрузки в зацеплениях, что объясняется уменьшением режущих способностей абразивных зерен в связи с их измельчением под нагрузкой. Погрешность профиля зубьев увеличивается при увеличении частоты вращения притираемого колеса, но уменьшается при увеличении частоты возвратно-поступательного движения притира. Результаты экспериментов и промышленного внедрения процесса позволили сделать вывод, что комбинированная притирка является эффективным методом доводки зубчатых зацеплений на сборке взамен шабрения.

#### Совершенствование статической балансировки деталей типа дисков.

Тенденция увеличения скоростей вращения роторов приводит к ужесточению допусков на их неуравновешенность и необходимости совершенствования методов выполнения балансировочных операций при сборке крупных зубчатых колес, маховиков, шкивов, рабочих колес насосов и др. С этой целью разработан и исследован новый способ и устройства статистической балансировки (УСБ) деталей типа дисков без насадки их на валы. Балансируемую деталь подвешивают над контрольной плитой базовым торцом вниз с помощью универсального устройства УСБ, в котором конструктивно объединены три шарнирных механизма: центрирования, поворота и выключения. Под действием неуравновешенной массы, деталь поворачивается в горизонтальной плоскости на определенный угол, фиксируемый с помощью рамного уровня или штангенрейсмаса. Дисбаланс детали  $D_{ст}$  определяется по отклонению базового торца  $H$  от горизонтальной плоскости на измеряемом диаметре детали  $D_H$ . На основе расчетов с учетом конст-

руктивных параметров устройства получена зависимость для определения дисбаланса

$$D_{ст} = 0,1 \frac{h}{D_n} \left\{ m_0 \left[ 499,6 - \frac{B}{2} - \sqrt{4 \cdot 10^4 - \left( \frac{d}{2} - 58,6 \right)^2} \right] + 1,23 \cdot 10^{-4} \right\} + 0,007 (m_0 + 37,3).$$

Для удобства пользования эта зависимость выражена в виде номограммы, по которой для определения дисбаланса достаточно установить отклонение  $h$ , взять по чертежу массу детали  $m_0$ , диаметр отверстия  $d$  и ширину ступицы  $B$ .

На основе проведенных исследований достигаемой точности процесса балансировки разработана и внедрена на заводах гамма балансировочных устройств (УСБ-1, УСБ-2, УСБ-3) для статической балансировки зубчатых колес и дисков с диаметром отверстий 100-460 мм и массой до 3,5 т. Эти универсальные устройства позволяют исключить необходимость в изготовлении специальной оснастки и снизить трудоемкость балансировки в 2 раза.

Для корректировки массы после определения величины дисбаланса разработан способ удаления излишней массы зубчатых колес путем эксцентричного растачивания венца. Для практического использования полученные расчетные зависимости представлены в виде номограмм.

Испытания механизмов и машин. В тяжелом машиностроении контрольно-испытательные операции производят в ограниченном объеме. Большие габаритные размеры и мощность крупных изделий создают значительные трудности в проведении стендовых испытаний под нагрузкой в заводских условиях. В этих случаях обычно прибегают к узловой сборке и испытаниям каждого собранного комплекта в отдельности. К числу наиболее распространенных сборочных единиц, подвергающихся испытаниям, относятся редукторы и узлы с зубчатыми передачами. Обкатка и испытания редукторов под нагрузкой позволяют приработать пары трения, выявить и устранить дефекты изготовления, обеспечить технические требования к сборке, повысить эксплуатационную надежность. На основе проведенных исследований и технико-экономического анализа методов испытания обоснована для условий многономенклатурного производства редукторов разомкнутая (как предпочтительная) схема нагружения с использованием в качестве нагружателей ферропорошковых тормозов типа ПТМ и ТЭН. При выборе стенда необходимо учитывать затраты на его изготовление и эксплуатацию, надежность в работе, возможность плавного регулирования нагрузки и другие факторы. Для определения целесообразности выбора приемлемой схемы стенда разработана специальная номограмма. Предложен и внедрен на заводах ряд оригинальных конструкций испытательных стен-

дов.

Пути совершенствования технической подготовки и организации сборочного производства. Перспективным направлением сокращения сроков и стоимости технической подготовки сборочного производства является создание автоматизированных систем проектирования технологических процессов (АСТП) сборки с применением ЭВМ. В условиях мелкосерийного производства разработку таких систем целесообразно осуществлять методом формализованного проектирования маршрутного технологического процесса, основанного на типовой технологии. При разработке АСПП сборки с использованием типовых решений изучаются конструктивно-технологические особенности сборочных единиц и изделий и формируется комплексный маршрут сборки, включающий упорядоченный в определенной последовательности набор типовых технологических операций сборки, характерных для рассматриваемого класса объектов. По предложенной методике разработана АСПП сборки транспортирующих рольгангов прокатных станов. Для записи комплексного маршрута разработаны таблицы, являющиеся составной частью алгоритма АСПП сборки рольгангов. Дальнейшие работы по созданию АСПП сборки изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства необходимо проводить в направлении разработки и систематизации рациональных методов осуществления слесарно-сборочных операций, создания технологических регламентов на типовые операции, что обеспечит формирование необходимых технологических массивов справочно-информационных систем.

Возможности совершенствования организационных форм сборочного производства определяются в первую очередь повторяемостью изделий, степенью их унификации и расчлененности на сборочные единицы. Анализ опыта заводов, а также проведенные исследования и технологические разработки показали, что одним из эффективных путей снижения трудоемкости и повышения технического уровня сборки изделий в условиях многономенклатурного производства является организация специализированных участков, цехов и поточных линий для сборки унифицированных узлов и машин, имеющих общие конструктивно-технологические признаки. Подобная специализация сборочного производства позволяет повысить уровень оснащенности операций за счет применения универсально-сборных и переналаживаемых приспособлений, стандов, средств контроля и снизить трудоемкость сборки на 15-20%.

#### 6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Апробация методики оценки технического уровня сборочного производства на многих заводах тяжелого машиностроения показала, что она является действенным средством анализа, дающего возможность наметить пути и методы совершенствования технологии механосборочного произ-

водства, разработать обоснованные рекомендации по улучшению технологичности конструкций машин, снижению трудоемкости изготовления, повышению качества изделий и эффективности их сборки.

Результаты отработки размерной технологичности конструкций изделий на основе расчетов сборочных размерных цепей с учетом требований их функционального назначения позволили обосновать практические рекомендации по оптимальной компоновке многозвенных размерных цепей и предложить рациональные методы компенсации погрешностей на замыкающем звене. Это значительно снижает объемы пригоночных работ на сборке, повышает качество и эксплуатационную надежность машин. Полученные на основе предложенной методики статистические характеристики рассеяния погрешностей обработки деталей в условиях мелкосерийного производства позволили выполнять расчеты сборочных размерных цепей вероятностным методом, установить экономически достижимые пределы точности при обработке различных групп деталей. Для практического использования результатов исследований разработаны ГОСТ 16.306-74 "Управление технологическими процессами. Контроль точности технологических процессов. Методы оценки точности в условиях единичного и мелкосерийного производства", ГОСТ 19415-74 "Цепи размерные. Методы расчета коэффициентов относительной асимметрии и относительного рассеяния замыкающих звеньев".

Предложенные технологические процессы, методы и средства, обеспечивающие повышение точности размеров, формы и расположения поверхностей при обработке различных групп сложных деталей прокатного, кузнечно-прессового, экскаваторного оборудования, насосов, гидроаппаратуры и др., получили внедрение на многих заводах тяжелого машиностроения, в результате чего значительно (на 50-70%) снизилась трудоемкость пригоночно-доводочных работ на сборке. Широкое применение на заводах получили предложенные методы, технологические рекомендации, процессы, приспособления, стенды, средства механизации трудоемких операций сборки, доводки, балансировки и испытания крупных машин. На их основе разработаны и внедрены СТП и РТМ на заводах. Создан ряд участков и поточно-механизированных линий, обеспечивающих снижение трудоемкости (на 15-20%), повышение эффективности и качества сборки изделий. Многие из предложенных и реализованных технологических методов и средств повышения эффективности сборочных процессов являются оригинальными и защищены авторскими свидетельствами на изобретения.

Основные результаты работы внедрены на: ПО "Новокраматорский машзавод", ПО "Ждановтяжмаш", ПО "Донецкгормаш", ПО "Крастяжмаш", ПО "Конвейер" (г. Львов), Старокраматорском, Электростальском, Иркутском, Алма-Атинском заводах тяжелого машиностроения, Южно-Уральском,

Елгавском, Черемховском машзаводах, Днепропетровском заводе металлургического оборудования и др. с общим экономическим эффектом около 2,0 млн.руб. в год. Результаты настоящей работы могут найти применение на заводах других отраслей машиностроения (станкостроение, энергетическое, угольное, дорожно-строительное машиностроение и др.).

В настоящее время дальнейшее широкое внедрение результатов работы осуществляется на заводах путем реализации разработанной под руководством и непосредственным участии диссертанта "Комплексной программы совершенствования сборочного производства на предприятиях Министерства тяжелого и транспортного машиностроения СССР в 1986-1990 годах". Ожидаемый экономический эффект от реализации программы составит 23 млн.руб.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема повышения качества и эффективности сборки крупных изделий включает в себя диалектическое противоречие между необходимостью обеспечения высоких точностных и эксплуатационных параметров машин и технологическими возможностями их достижения при оптимальных трудовых и материальных затратах. Это естественное противоречие необходимо решать путем научно обоснованного регламентирования характеристик качества проектируемых машин, исходя из их функционального назначения, и изыскания наиболее эффективных технологических методов и средств их обеспечения в процессе производства. При отработке технологичности изделия должен достигаться обоснованный компромисс между свойствами проектируемого объекта как средства обеспечения требуемых функциональных и эксплуатационных характеристик и его свойствами как объекта производства, способствующими его изготовлению при оптимальных трудовых затратах.

Основной результат диссертационной работы – новые решения и научное обобщение проблемы, имеющей важное народнохозяйственное значение, связанное с разработкой методологии комплексного управления качеством и эффективностью сборки изделий тяжелого машиностроения в процессе их проектирования и изготовления с минимальными трудовыми затратами.

Предложенные в работе технологические методы и средства для решения поставленной задачи отличаются новизной, оригинальностью и защищены 26 авторскими свидетельствами на изобретения.

Полученные в диссертационной работе новые научные результаты сводятся в основном к следующему:

1. На основе анализа технологии сборки различных видов машин установлено влияние комплекса конструктивных, технологических и организационно-технических факторов на формирование структуры сборочных процессов, общий уровень сборочного производства. В результате этого

разработана методика оценки и анализа технического уровня сборочного производства, составляющими элементами которого являются уровень технологического процесса, уровень организации и технологической подготовки сборки. Предложенная в методике система частных показателей, позволяет на стадиях отработки технологичности конструкции и проектирования технологии прогнозировать ожидаемый уровень трудоемкости и качества выпускаемых изделий и осуществлять выбор наиболее эффективного варианта.

2. На базе теоретических и экспериментальных исследований предложена для условий единичного и мелкосерийного производства методика определения статистических характеристик рассеяния погрешностей обработки деталей по методу приведенных отклонений. Это позволило установить экономически достижимые пределы точности при обработке деталей по методу пробных проходов, выполнить расчеты многозвенных сборочных размерных цепей вероятностным методом. Результаты проведенных исследований положены в основу разработанных ГОСТов по управлению точностью технологическими процессами в условиях единичного и мелкосерийного производства.

3. В результате отработки размерной технологичности конструкций типовых узлов и механизмов крупных машин обоснованы расчетным путем их размерно-точностные характеристики (замыкающие звенья) с учетом функционального назначения изделия. Проведены расчеты и экспериментальные исследования влияния погрешностей изготовления и сборки машин на их точностные и эксплуатационные параметры, предложены методы компенсации погрешностей на сборке, разработаны технологические рекомендации по повышению качества изготовления машин.

4. Установлено, что наиболее существенное влияние на трудоемкость пригоночных работ и качество сборки изделий оказывают погрешности формы и расположения поверхностей при обработке деталей (особенно крупногабаритных) на металлорежущих станках. С этой целью предложены и исследованы перспективные технологические процессы, методы и средства, обеспечивающие повышение точности при обработке крупных и сложных деталей по указанным параметрам, а также снижение трудозатрат на пригоночные работы на 50-70%. Обработка результатов исследований на основе многокритериальной оптимизации различных методов достижения заданных точностных параметров качества изделий по минимуму технологической себестоимости позволила обосновать экономическую целесообразность и эффективность принятых решений.

5. Предложен новый способ контроля сборки многоузловых агрегатов, основанный на отказе от обычной сборки по размерно-геометрическим допускам и переходе к физическому критерию-минимуму потерянной мощно-

сти. Осуществление сборки по данному способу обеспечивает уменьшение потерь мощности, затрачиваемой на износ деталей в парах трения (на 12-18%), повышается надежность работы крупных машин.

6. Разработана методика оценки качества сборки редукторов с зубчатым зацеплением на основе измерения и анализа спектра их гинематической погрешности, что дает возможность осуществить необходимые технологические меры, направленные на устранение выявленных погрешностей в процессе их изготовления.

7. На основе расчетов и экспериментальных исследований получены зависимости определения оптимальных значений температуры и времени охлаждения (или нагрева) деталей для соединений с натягом тепловым способом, учитывающие технологические особенности их сборки. Разработан и исследован метод исключения (или резкого сокращения) шабровочных работ на сборке, связанных с доводкой отверстий втулок в результате их усадки после запрессовки. Для практического использования результатов исследований разработаны специальные номограммы, а также РТМ по выбору эффективных методов выполнения соединений деталей с натягом и средств их механизации, обеспечивающие требуемое качество и минимальную трудоемкость сборки.

8. Для сокращения трудоемкости доводочных работ на сборке обоснованы и предложены устройства к сверлильным станкам, обеспечивающие механизированную притирку цилиндрических и конических сопряжений деталей гидроаппаратуры. На основе экспериментальных исследований разработаны рекомендации по выбору рациональных режимов их доводки.

9. Разработаны способ и устройства для комбинированной притирки под нагрузкой зубьев крупных зубчатых колес собранных редукторов, обеспечивающие интенсификацию съема металла. В результате этого повышается производительность доводочных работ на сборке, исключается ручное шабрение зубьев, улучшается качество изготовления крупных редукторов.

10. Предложены и исследованы способ и устройства для статической балансировки крупных деталей типа дисков (зубчатых колес), обеспечивающие в 1,5-2 раза повышение производительности и точности выполнения балансировочных операций. Для практического использования результатов исследований разработаны номограммы для определения величины дисбаланса и способа удаления корректирующей массы.

11. Для испытания под нагрузкой на сборке крупных узлов и механизмов с зубчатым приводом разработана, исследована и внедрена гамма универсальных стендов с применением ферропорошковых тормозов, обеспечивающих получение тормозных моментов на выходном валу в широком диапазоне их значений. Дано технико-экономическое обоснование выбора

стендов по разомкнутой и замкнутой схемам. Испытание узлов под нагрузкой в соответствии с ТУ на заводах тяжелого машиностроения повышает качество их сборки и эксплуатационную надежность.

12. Разработана система и методика автоматизированного проектирования технологических процессов (АСНТП) сборки с применением ЭВМ. Показано, что в условиях многономенклатурного производства разработку таких систем целесообразно осуществлять на базе формализованного проектирования маршрутных технологических процессов, основанных на типовой технологии сборочных единиц и изделий. Созданные на базе типовой технологии поточно-механизированные линии и участки сборки узлов машин позволили снизить трудоемкость их сборки на заводах на 15-20%.

13. Внедрение и проверка предложенного комплекса научно обоснованных технологических методов и средств снижения трудоемкости, повышения качества, эффективности сборки и испытания машин в производственных условиях на многих заводах подтвердили результаты и выводы исследований. Общий экономический эффект от внедрения работы составил около 2,0 млн. рублей.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Жабин А.И., Мартынов А.П. Сборка изделий в единичном и мелкосерийном производстве. - М.: Машиностроение, 1983. - 184с.

2. Исаев А.И., Жабин А.И. Сборка крупных машин. - М.: Машиностроение, 1971. - 136 с.

3. Жабин А.И., Мартынов А.П. Сборка типовых частей и механизмов машин. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник. В 2-х т. - М.: Машиностроение, 1983. - Т. I. Сборка изделий машиностроения, 1983. - С. 238-269.

4. Универсально-сборная и переналаживаемая оснастка / А.И. Жабин, Г.П. Холод, В.А. Здор и др. - Киев: Техника, 1982. - 262с.

5. Жабин А.И. Важнейшие направления повышения качества сборки. - М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968. - 21с. - (Сер. 12-67-7. Технология, организация и мех. механосборочного произ-ва. Обзор. информ.).

6. Жабин А.И. Совершенствование сборочных процессов в тяжелом машиностроении // Вестник машиностроения. - 1976. - № 4. - С. 56-61.

7. Жабин А.И. Анализ влияния конструктивно-технологических факторов на структуру сборочного процесса и пути его совершенствования // Механообработка, надежность машин. - Краматорск, 1974. - С. 3-12. - (Сб. тр. НИИПТмаша, вып. 16).

8.Жабин А.И. Повышение собираемости крупных изделий в тяжелом машиностроении // Вестник машиностроения. - 1973. - № 9. - С. 48-51.

9.Жабин А.И. Пути снижения трудоемкости сборки // Машиностроитель. - 1975. - № 4. - С. 38-40.

10.Жабин А.И. Снижение трудоемкости сборки машин за счет применения рациональных методов компенсации погрешностей. - М.:НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1975. - 21с - (Сер. 2; Обзор. информ.).

11.Совершенствование процессов сборочного производства в тяжелом и транспортном машиностроении / А.И.Жабин, Е.В.Смирнова, А.В.Солод и др. - М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1983. - 45с. - (Сер. 12-83-30. Технолог., организ. и мех. механосборочного произ-ва. Обзор. информ.).

12.Жабин А.И. Технологическая оснастка при сборке крупных машин // Применение универсально-сборной и переналаживаемой оснастки на предприятиях тяжелого машиностроения - Краматорск, 1984. - С.22-31. - (Сб. тр. НИИПТмаша).

13.Жабин А.И., Мартынов А.П. Собираемость крупных зубчатых зацеплений на основе расчета сборочных размерных цепей // Вестник машиностроения. - 1973. - № 1. - С. 43-46.

14.Жабин А.И., Мартынов А.П. Размерный анализ точности сборки крупных машин. - М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968. - С. 3-12. - (Сер.12-68-14. Технология, организ. и мех.механосборочного произ-ва. Обзор.информ.).

15.Жабин А.И., Бровман М.Я. Влияние погрешностей сборки на эксплуатационные параметры машин // Сб. научн.тр. Краматорского НИИПТмаша. - 1981. - С. 167-174.

16.Жабин А.И., Койре В.Е. Статистические методы исследования точности обработки крупногабаритных деталей в тяжелом машиностроении // Вестник машиностроения. - 1968. - № 8. - С. 48-51.

17.Жабин А.И., Сырнев В.А., Волошин С.И. Температурные деформации при обработке крупных деталей // Вестник машиностроения. - 1979. - № 2, - С. 50-53.

18.Жабин А.И., Цыбанев В.И. Применение переналаживаемых приспособлений - спутников в тяжелом машиностроении. - М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1974. - С. 50-54. - (Сер.17 -4-74. Оборудование и приспособления для обработки крупных деталей. Обзор.информ.).

19.Жабин А.И., Мартынов А.П., Кноблех В.П. Новый способ статической балансировки деталей типа дисков // Вестник машиностроения. - 1972. - № 3. - С. 65-67.

20.Жабин А.И., Коган В.И. Совершенствование балансировки рабочих колес насосов // Вестник машиностроения. - 1981. - № 3. - С. 62-63.

21.Комбинированная притирка зубьев зубчатых колес / Э.В.Рыжев, А.И.Жабин, М.Б. Кивенсон и др. // Вестник машиностроения. - 1980. - № 5. - С.58-60.

22.Жабин А.И., Бровман М.Я., Сафронова Т.В. Контроль точности взаимной установки узлов при сборке по коэффициенту полезного действия // Машиноведение. - 1985. - № 3. - С. 47-51.

23.Жабин А.И., Ионак В.Ф. Оценка качества сборки редукторов по кинематической погрешности // Вестник машиностроения. - 1984. - № 11. - С. 5-6.

24.Горбунов Б.И., Жабин А.И., Мартынов А.П. Устранение неуравновешенности методом растачивания // Изв.вузов. Машиностроение. - 1972. - С. 154-159.

25.Жабин А.И., Кубарев А.И., Мартынов А.П. Оценка качества технологических процессов сборки в единичном и мелкосерийном производстве // Вестник машиностроения. - 1979. - № 8. - С. 40-42.

26. А.с. 160062 СССР. Клиновой компенсатор подвижных соединений деталей машин / А.И.Жабин, С.А.Певзнер (СССР). - № 771781/25-8; Заявлено 02.04.62; Опубл. 14.01.64, Бюл. № 2 // Открытия, Изобретения. - 1964. - № 2 - С.13.

27. А.с. 451898 СССР. Прибор для измерения отклонения осевых шагов / А.И.Жабин, В.И.Печеный, А.К.Сидоренко (СССР). - № 1867885/25-28; Заявлено 03.01.73; Опубл. 30.11.74, Бюл. № 44 // Открытия. Изобретения. - 1974, - № 44. - С.15.

28. А.с. 588095 СССР. Способ обработки деталей в приспособлениях - спутниках / В.И.Цыбанев, А.И.Жабин, Ф.С. Лысак и др. (СССР). - № 2186954/25-08; Заявлено 04.11.75; Опубл. 15.01.78, Бюл. № 2 // Открытия. Изобретения. - 1978. - № 2. - С. 75.

29.А.с.629459. Устройство для статической балансировки / А.П. Мартынов, А.И.Жабин, В.П.Кноблах, И.С.Чигиринцев (СССР). - № 2386270/25-28; Заявлено 15.07.76; Оpubл. 25.10.78; Бюл. № 39 // Открытия. Изобретения. - 1980, - № 39. - С.76.

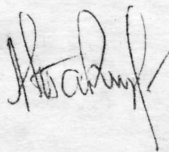
30.А.с. 761240 СССР. Устройство для притирки конических поверхностей деталей / А.И.Жабин (СССР) . - № 2635951/25-08; Заявлено 02.06.78; Оpubл. 07.09.80, Бюл. № 33 // Открытия. Изобретения. - 1980. - № 33. - С. 48.

31. А.с. 759890 СССР. Стенд для испытания редукторов / М.Б.Кивенсон, А.И.Жабин, И.В.Кузьменко и др. (СССР). - № 2619984/25-08; Заявлено 29.05.78; Оpubл. 30.08.80, Бюл. № 32 // Открытия. Изобретения. - 1980. - № 32. - С.80.

32.А.с. 823059 СССР. Способ сборки крупногабаритного многоузлового агрегата / М.Я.Бровман, А.И.Жабин, Ю.В.Будников (СССР). - № 2802257/25-08; Заявлено 27.07.79; Оpubл. 23.04.81, Бюл. № 15 // Открытия. Изобретения. - 1981. - № 15. - С.37.

33.А.с. 1085766 СССР. Поточно-механизированная сборочная линия / М.Б.Кивенсон, Н.И. Толстяк, А.И.Жабин (СССР). - № 3470160/ 25-08; Заявлено 09.07.82; Оpubл. 15.04.84, Бюл. № 14 //Открытия. Изобретения. - 1984. - № 14. - С.76-77.

34.А.с. 869974 СССР. Устройство для обработки кромок отверстий (Ф.И.Небылицкий, В.А.Попов, А.И.Жабин и др. (СССР) - № 2747829/25-8; Заявлено 06.04.79; Оpubл. 07.10.81. Бюл. № 37 // Открытия. Изобретения - 1981. - № 37. - С.62.



Ответственный за выпуск Ткачев НА.

Подписано к печати 7.07.87. БП 09131

Формат бумаги 60х90 I/16. Объем 2 печатных листа. Заказ № 169  
Тираж 100 экз. Бесплатно.

---

Отпечатано на ротопринтере Краматорского научно-исследовательского и проектно-технологического института машиностроения  
343919, г.Краматорск, ГСП-26